CIÊNCIAS RURAIS

NO SÉCULO XXI

EZEQUIEL REDIN

(ORGANIZADOR)

Editora Poisson

VOLUME 9

Ezequiel Redin
(Organizador)

Ciências Rurais no Século XXI
Volume 9

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2026

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R488c
Ciências Rurais no Século XXI – Volume 9 / Organização: Ezequiel Redin – Belo Horizonte MG: Editora Poisson, 2026.
179 p.

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-642-4
DOI: 10.36229/978-65-5866-642-4
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Ciências Rurais 2. Agronomia 3. Agricultura 4. Zootecnia.
1. REDIN, Ezequiel 2. Título

CDD-630

SÔNIA MÁRCIA SOARES DE MOURA – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterado.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Agricultura de baixo carbono..... 06

Magna Maria Macedo Nunes Costa

DOI: 10.36229/978-65-5866-642-4.CAP.01

Capítulo 2: Potássio na agricultura..... 13

Magna Maria Macedo Nunes Costa

DOI: 10.36229/978-65-5866-642-4.CAP.02

Capítulo 3: Aplicação de modelos mistos (REML/BLUP) na seleção de genótipos de arroz irrigado em Campos dos Goytacazes, RJ..... 36

Josefa Grasiela Silva Santana, Rogério Figueiredo Daher, Moisés Ambrósio, Silvino Amorim Neto, Ana Kesia Faria Vidal, Rafael Souza Freitas, Maxwel Rodrigues Nascimento, Cleudiane Lopes Leite, Josilene Vargas Xavier, Cleverton França Vaz, Gabriel Bousse Picanço, Kethily Kauane Vieira Maciel, Ana Luiza da Silva Pereira Vaz, Anderson Cordeiro de Oliveira Peris, Anny Caroline Miranda Kunkel, Thaís Rufino Linhares, Bruna de Melo Viana, Marcelo dos Santos Ferreira, Thais Gomes de Souza, Bruno dos Santos Barbosa

DOI: 10.36229/978-65-5866-642-4.CAP.03

Capítulo 4: Seleção de genótipos de arroz irrigado em Campos dos Goytacazes via análise de modelos mistos (REML/BLUP)..... 49

Moisés Ambrósio, Rogério Figueiredo Daher, Josefa Grasiela Silva Santana, Silvino Amorim Neto, Ana Kesia Faria Vidal, Rafael Souza Freitas, Maxwel Rodrigues Nascimento, Cleudiane Lopes Leite, Josilene Vargas Xavier, Cleverton França Vaz, Gabriel Bousse Picanço, Kethily Kauane Vieira Maciel, Ana Luiza da Silva Pereira Vaz, Anderson Cordeiro de Oliveira Peris, Anny Caroline Miranda Kunkel, Thaís Rufino Linhares, Bruna de Melo Viana, Marcelo dos Santos Ferreira, Thais Gomes de Souza, Bruno dos Santos Barbosa

DOI: 10.36229/978-65-5866-642-4.CAP.04

Capítulo 5: Fontes orgânicas de nitrogênio e borra de café na produção de biocompósitos colonizados pelo cogumelo-ostra..... 60

Gabriel Pereira dos Santos, Jamile Soares Ferreira, Douglas Alexandre Santos Rodrigues, Kairon Rocha Andrade, Airon José da Silva, Marcos Cabral de Vasconcellos Barretto, Regina Helena Marino

DOI: 10.36229/978-65-5866-642-4.CAP.05

SUMÁRIO

Capítulo 6: Caracterização do crescimento ponderal de frangos caipiras Gris Cendré em ambiente semiárido 71

Marco Aurélio Carneiro de Holanda, Henrique Soares Leite de Lima, Vinícius Gonzaga Neres, Mônica Calixto Ribeiro de Holanda, Anastácia Brandão de Mélo, Nicoly Farias Gomes

DOI: 10.36229/978-65-5866-642-4.CAP.06

Capítulo 7: Gestão da qualidade no abate avícola: processos, normas e boas práticas 86

Marco Aurélio Carneiro de Holanda, Jéssica Cristina da Silva Oliveira, Clairton Bruno Rodrigues de Morais, Mônica Calixto Ribeiro de Holanda, Tiago Gonçalves Pereira Araujo, Nicoly Farias Gomes

DOI: 10.36229/978-65-5866-642-4.CAP.07

Capítulo 8: Da zootecnia à medicina: miniporcos e suas contribuições para a pesquisa médica translacional 121

Marco Aurélio Carneiro de Holanda, Mônica Calixto Ribeiro de Holanda, Jéssica Cristina da Silva Oliveira, Marco Aurélio Calixto Ribeiro de Holanda, Nicoly Farias Gomes

DOI: 10.36229/978-65-5866-642-4.CAP.08

Capítulo 9: Correlação entre déficit de grelina, leptina e aumento de lipase pancreática em cães 149

Erick da Silva Vilella, Giovana Canossa Barizão Fiore

DOI: 10.36229/978-65-5866-642-4.CAP.09

Capítulo 10: Legislação aplicada aos produtos de abelhas sem ferrão, com ênfase na inspeção de produtos de origem animal 154

Rachiel Eduardo Silva Rebouças, Saint Clair Lira Santos

DOI: 10.36229/978-65-5866-642-4.CAP.10

Capítulo 11: Turismo rural, aura y fetichismo en la transformación contemporánea del paisaje 163

Alba Lucía Lucumí Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-642-4.CAP.11

Autores 174

Capítulo 1

Agricultura de baixo carbono

Magna Maria Macedo Nunes Costa

Resumo: Imagine caminhar por um campo onde cada escolha feita - da semente plantada ao alimento entregue - é meticulosamente planejada para reduzir as emissões de carbono e aumentar a sustentabilidade. Isso não é um sonho distante, mas uma necessidade urgente para o futuro do nosso planeta. Cadeias de suprimentos agrícolas de baixo carbono vão além da simples redução de emissões - elas representam uma reformulação completa do sistema para construir resiliência e sustentabilidade desde a base. A agricultura desempenha um papel significativo nas emissões globais de carbono. O setor é responsável por quase 25% de todas as emissões de gases de efeito estufa, sendo a maior parte proveniente do uso da terra, do metano da pecuária e do óxido nitroso dos fertilizantes. No entanto, apesar dos avanços tecnológicos e das práticas, muitas cadeias de suprimentos permanecem ineficientes e opacas, dificultando o rastreamento e a minimização eficazes das emissões de carbono. As cadeias de suprimentos agrícolas tradicionais são complexas e fragmentadas, o que frequentemente leva à falta de visibilidade e responsabilidade na gestão de carbono. Essa complexidade não apenas dificulta os esforços para reduzir as emissões, mas também cria desafios para o atendimento aos requisitos regulatórios e às expectativas dos consumidores em relação à sustentabilidade.

Palavras-chave: Agricultura regenerativa, Mudança climática, Gases do efeito estufa.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de baixo carbono, também chamada de agricultura sustentável ou agricultura de baixa emissão de carbono, é um sistema agrícola que visa combater os efeitos deletérios das mudanças climáticas através da redução das emissões de carbono para a atmosfera e do aumento do sequestro desse elemento através de práticas agrícolas estratégicas. A agricultura de baixo carbono busca proteger e melhorar a qualidade dos recursos naturais, aumentar a biodiversidade e a produtividade agrícola, ao mesmo tempo em que avança em direção a um futuro mais sustentável.

Grande parte das emissões de gases do efeito estufa (GEE) vem do aumento progressivo no consumo de combustíveis fósseis, da intensificação do uso dos recursos naturais, dos processos produtivos e agrícolas não sustentáveis, do mau gerenciamento de resíduos, do desmatamento e das queimadas, causando mudanças climáticas no planeta. Essas mudanças são refletidas em temperaturas médias mais altas; eventos climáticos extremos como furacões, ciclones, tempestades, secas e inundações; alterações nos ecossistemas e na biodiversidade. As práticas da agricultura de baixo carbono são ajudam a reverter esse quadro.

2. CONTRIBUIÇÃO DA AGRICULTURA PARA A MUDANÇA CLIMÁTICA

A agropecuária é uma das atividades humanas que mais contribuem para as mudanças climáticas no nosso planeta. Em 2023, essa atividade foi responsável por 74% da emissão de GEE para a atmosfera, chegando à cifra de 57,1 bilhões de emissões de dióxido de carbono (CO_2) (Pivetta, 2024).

Além das emissões de CO_2, a agropecuária emite quantidades significativas de outros GEEs como metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), clorofluorcarbonetos (CFCs), hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF_6), sendo a pecuária responsável por quase dois terços do total de CO_2, CH_4 e N_2O juntos. As emissões de N_2O, provenientes de fertilizantes sintéticos, pesticidas e herbicidas, contribuem com quase 13% do total de GEE emitidos, enquanto as emissões de CH_4, provenientes da produção global de arroz, são responsáveis por 10% do total.

Não houve, a nível mundial, muitas políticas eficazes para reduzir a emissão de GEE provenientes das atividades agropecuárias. Nesse contexto, os produtores agropecuários precisam começar a pensar em medidas efetivas para reduzir as contribuições que dão para as mudanças climáticas no planeta. Isso pode ser alcançado através de práticas agropecuárias sustentáveis. Em que pese a produção agrícola ser, sem dúvida, parte do problema climático, ela pode vir a ser parte da solução.

3. BENEFÍCIOS DA AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO

3.1. SEQUESTRO DE CARBONO

A agricultura de baixo carbono desempenha um importante papel no sequestro do carbono atmosférico. O CO_2 é fixado e utilizado pelas culturas por meio da fotossíntese e armazenado como compostos orgânicos na biomassa de raízes, caules, folhas, flores, frutos, sementes e solos. As plantas cultivadas das áreas agrícolas retêm uma quantidade significativa do carbono mundial. Entretanto, são os solos o maior sumidouro terrestre de carbono do planeta, com uma ampla capacidade de sequestrar esse elemento, dependendo do clima, do tipo de solo, do tipo de cultivo ou da cobertura vegetal.

De acordo com Pomponi et al. (2020), as atividades agrícolas e florestais 12% do total das emissões de carbono dos setores de transporte, de energia e da indústria. No entanto, os agricultores e silvicultores poderiam aumentar esse patamar, introduzindo a agricultura regenerativa, aumentando a eficiência no uso da terra, otimizando a ciclagem de nutrientes, promovendo a biodiversidade e modernizando as práticas de cultivo e manejo do solo.

O sequestro de carbono beneficia inúmeras indústrias, que podem muito bem compensarem governos e corporações com o financiamento de projetos que promovam o desenvolvimento da agricultura de baixo carbono (Wu et al., 2023).

3.2. PROTEÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS E DO MEIO AMBIENTE

- Melhorando a estrutura e a vitalidade do solo, fica mais difícil ocorrer erosão, protegendo os cursos naturais de água e os ecossistemas nativos dos resíduos de agrotóxicos e fertilizantes solúveis;
- Diminuindo o uso de fertilizantes sintéticos e agrotóxicos, há uma proteção dos recursos hídricos acima (cursos naturais de água) e abaixo do solo (aquíferos naturais). Ocorre poluição dos aquíferos quando produtos de natureza química entram num sistema sem recarga. Dessa forma, deve-se haver um gerenciamento correto dos nutrientes que são supridos às plantas, porque, quando contaminados, os aquíferos ficam difíceis de correção;
- Ao melhorar a retenção de água e a drenagem do solo com sistemas de cultivo de baixa intensidade, como plantio direto e cultivo mínimo, há melhoria na sustentabilidade dos recursos naturais;
- Os serviços ecossistêmicos e a biodiversidade natural podem ser melhorados por meio de práticas agrícolas que incluam diversificação de culturas (consórcio, rotação, sistemas agroflorestais e integração lavoura-pecuária-floresta), redução do uso de nutrientes (bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos), crescimento da comunidade microbiana do solo (adubação com estercos, compostos orgânicos, biofertilizantes e bokashis) e proteção do habitat da vida selvagem (florestamento e reflorestamento); e
- A qualidade do ar nas cidades circunvizinhas aos locais de produção agrícola pode ser significativamente melhorada quando os agricultores usam menos fertilizantes e agrotóxicos e utilizam biocombustíveis renováveis para a operação de veículos e máquinas ao invés de derivados do petróleo.

4. DESAFIOS PARA UMA AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO

4.1. ADOÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO

Um dos maiores desafios da agricultura moderna é fazer com que agricultores, silvicultores e pecuaristas adotem e implementem estratégias de baixo carbono. Embora existam inúmeros benefícios em mudar para um sistema desse tipo, esses benefícios geralmente só se manifestam a longo prazo – tornando difícil convencer os produtores a mudar para sistemas atualizados de produção agropecuária.

Os governos podem ajudar agricultores, silvicultores e pecuaristas a garantir uma transição tranquila para um sistema de baixo carbono, oferecendo subsídios financeiros e tecnológicos que cubram as perdas iniciais desse período de mudança. Países de todo mundo se comprometeram a reduzir sua pegada de carbono e as emissões gerais de gases de efeito estufa através de acordos internacionais estabelecidos, como o Protocolo de Kyoto (1997) e o Acordo de Paris (2015). Uma das estratégias mais eficazes acordadas está a introdução do comércio de carbono. Embora o subsídio de indústrias que emitem grandes quantidades de carbono para a atmosfera seja indiscutivelmente uma tática bem-sucedida, os subsídios para levar o setor agropecuário ao mesmo fim ainda são tímidos.

A compensação na redução da produtividade agrícola nos primeiros anos de diversificação de cultivos e custos iniciais com tecnologias que diminuem a emissão de carbono para a atmosfera, deixam os agricultores menos hesitantes na mudança para um sistema de baixo carbono. Como a agricultura é responsável por menos de 20% das emissões globais de GEE, é mais do que sensato a introdução de subsídios no setor.

4.2. MONITORAMENTO DO PROGRESSO

É importante o desenvolvimento de técnicas de mensuração do aumento da produtividade agrícola, do nível de proteção dos recursos naturais e da quantidade de serviços ecossistêmicos gerais advindos da agricultura de baixo carbono. Embora tais benefícios sejam inegáveis, na maioria das vezes fica difícil monitorar o progresso de forma consistente, com tomada de variáveis e análises estatísticas, uma vez que a maioria dos benefícios da agricultura de baixo carbono só se manifesta à longo prazo.

5. OS QUATRO PILARES DA AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO

5.1. MANEJO DE NUTRIENTES

O manejo dos nutrientes é uma prática essencial para agricultores, silvicultores e pecuaristas que buscam reduzir a pegada de carbono ou fazer a transição para um sistema de baixo carbono. Os nutrientes essenciais contribuem para o sequestro de carbono, aumentando a produção de biomassa e melhorando a relação carbono:nitrogênio (C:N) do solo. A melhor maneira de aumentar o sequestro de carbono nos sistemas agrícolas é com a utilização de insumos orgânicos, como cobertura morta, cobertura viva, compostos orgânicos e biofertilizantes. Esses insumos contêm os nutrientes que as plantas precisam numa proporção equilibrada. A utilização de fertilizantes minerais pode levar ao aumento da emissão de GEE, particularmente de N_2O.

Quando manejados corretamente, os nutrientes podem reduzir a decomposição geral de compostos de carbono estáveis do solo, aumentando a população microbiana e, consequentemente, a fixação de carbono atmosférico. O aumento da biomassa por meio de uma maior produtividade dos cultivos (parte aérea e sistema radicular) aumenta a resistência e a estabilidade dos solos, prevenindo a erosão, que arrasta cargas significativas de carbono nos sistemas naturais.

O sequestro de carbono pelo solo compensa quase 10% das emissões globais de GEE (Yadav et al., 2009). Entretanto, com o manejo adequado de nutrientes, esse valor pode aumentar significativamente, contribuindo para a sustentabilidade da agricultura.

5.2. MANEJO DE ANIMAIS

A pecuária é responsável por quase 15% das emissões globais de GEE. Dessa percentagem, a pecuária de corte participa com quase 50% (Wiesner et al., 2022). A maior parte dessas emissões são provenientes das indústrias de rações, da digestão dos animais e dos estercos. Práticas pecuárias modernas e sustentáveis são alternativas que têm grande potencial para diminuir esses índices de emissões de GEE.

Destarte a pecuária ser uma atividade demasiadamente contribuinte para as emissões globais de GEE, são poucos os pecuaristas que sabem que poderiam muito bem usar os seus rebanhos para sequestrar carbono atmosférico, compensando os efeitos deletérios das emissões provenientes da criação dos seus animais.

Os pecuaristas podem restaurar a vitalidade e a produtividade do solo, transformar o pastoreio em um ecossistema equilibrado e melhorar a resiliência por meio de um manejo adequado. Uma das práticas consiste em implementar, manter e melhorar o sistema de tratamento de dejetos e resíduos oriundos da produção animal para geração de biofertilizante, biogás e energia elétrica. Além de aumentar a renda dos pecuaristas, tal prática ainda contribui para a redução de GEE e a sustentabilidade do sistema. Muitas outras práticas agrícolas contribuem para uma pecuária de baixo carbono: recuperação de pastagens degradas, interação lavoura-pecuária-floresta (ILPF), sistema de plantio direto (SPD) e fixação biológica de nitrogênio (FBN).

5.3. MANEJO DO SOLO E DAS PASTAGENS

Quase 40% dos solos do mundo são utilizados para o cultivo de plantas, incluindo pastagens (Sims et al., 2014), o que faz da agricultura e da pecuária atividades fundamentais para atingir metas globais em relação ao sequestro de carbono da atmosfera. Durante anos, persistiu-se a ideia, entre os agricultores, que o preparo convencional do solo aumentaria a produtividade das culturas; melhoraria as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo; e traria benefícios ecossistêmicos. Entretanto, o plantio direto e o cultivo mínimo têm trazido mais benefícios ambientais ao solo à longo prazo (Law e Gallagher, 2018). O manejo do solo com cultivo conservacionista, ao minimizar a perturbação do solo, sequestra mais carbono.

A biomassa microbiana é um dos melhores indicadores da vitalidade, da estrutura e da retenção de nutrientes do solo. Quando os agricultores usam métodos convencionais de preparo do solo, as comunidades microbianas são destruídas e, com elas, os efeitos benéficos. Por outro lado, ao implementar culturas de cobertura em sistema de preparo conservacionista, os agricultores podem aumentar o carbono orgânico e melhorar a estrutura do solo, para consequentemente melhorarem a infiltração de água, a drenagem e a disponibilidade de nutrientes às plantas. Também há redução na erosão e na perda de carbono para a atmosfera.

5.4. ENERGIA RENOVÁVEL

A energia renovável desempenha um papel significativo na produção agrícola. Hoje, quase 40% dos agricultores do planeta utilizam biocombustíveis, energia solar, energia eólica e energia geotérmica para aprimorar suas operações e reduzir sua pegada de carbono (Hickel e Hallegatte, 2020). Com os avanços tecnológicos em alta no setor de energias

renováveis, os agricultores podem utilizar os recursos renováveis a preços acessíveis, e espera-se uma tendência de crescimento nos próximos anos (Kumar et al., 2023).

a) Biocombustíveis

Seja direta ou indiretamente, a maioria dos agricultores atua na produção de energia renovável. Cana-de-açúcar, soja, girassol, milho e babaçu são algumas das culturas utilizadas na produção de biocombustíveis, reduzindo o uso global de combustíveis fósseis. Agricultores, silvicultores e pecuaristas que utilizam biocombustíveis estão contribuindo para a redução da pegada de carbono.

b) Energia Solar

Os produtores rurais podem utilizar energia solar em diversas operações como, por exemplo, em iluminação, carregamento de baterias, bombeamento de água, acionamento de pequenos motores e alimentação de cercas elétricas. A pecuária também é uma atividade em que a utilização da energia solar traz muitos benefícios. A bovinocultura leiteira, por exemplo, usa uma quantidade muito significativa de energia no resfriamento do leite e na esterilização de equipamentos. Ao usar sistemas solares ao invés combustíveis fósseis, os produtores de laticínios têm em mão uma ferramenta para reduzir substancialmente o consumo de energias não renováveis.

c) Energia Eólica

A energia eólica é extremamente útil nas operações agrícolas em locais com boa disponibilidade de ventos. No passado, as turbinas eólicas eram extremamente onerosas, limitando a instalação nas áreas de pequenos produtores. Entretanto, esse quadro vem mudando. Hoje em dia, pequenas turbinas eólicas são uma opção vantajosa para as operações agrícolas de pequenas propriedades, variando em tamanho para atender às necessidades específicas de cada unidade agrícola. À medida que a tecnologia e a inovação avançam, podemos esperar maior número de agricultores utilizando energia eólica – com o fito de, eventualmente, se tornarem totalmente autossuficientes.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Enquanto algumas operações agrícolas da produção convencional de alimentos, fibras e energia podem contribuir para o aumento dos GEE na atmosfera, a própria agricultura tem potencial para reverter tal processo, se feita em moldes ecológicos. Operações como adubação orgânica, adubação verde, plantio direto, cultivo mínimo, associação e rotação de culturas contribuem para o aumento do sequestro de carbono pelo solo. Nessa perspectiva, instituições de pesquisa devem focar em práticas com impacto mínimo ao meio ambiente, ajudando no desenho de sistemas sustentáveis de produção agropecuária. Agricultura orgânica, agricultura biológica, agricultura natural, agricultura biodinâmica, agricultura sintrópica, integração lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta são exemplos de sistemas de baixo carbono.

REFERÊNCIAS

[1] HICKEL, J.; HALLEGATTE, S. Can we live within environmental limits and still reduce poverty? Degrowth or decoupling? **Climate Change Policy and Economics,** v. 40, e12584, 2020.

[2] KUMAR, C. M. S.; SINGH, S.; GUPTA, M. K.; NIMDEO, Y. M.; RAUSHAN, R.; DEORANKAR, A. V.; KUMAR, T. M. A.; ROUT, P. K.; CHANOTIYA, C. S.; PAKHALE, V. D.; NANNAWARE, A. D. Solar energy: A promising renewable source for meeting energy demand in Indian agriculture applications. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v. 55, e102905, 2023.

[3] LAW, J. J.; GALLAGHER, R. S. Seed distribution and invertebrate seed predation in no-till and minimum-till maize systems. **Agronomy Journal,** v. 110, n. 6, p. 2488-2495, 2018.

[4] PIVETTA, M. Produção de gases de efeito estufa cresce 1,3% no mundo, mas cai 12% no Brasil. **Pesquisa Fapesp,** ed. 346, 2024. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/producao-de-gases-de-efeito-estufa-cresce-13-no-mundo-mas-cai-12-no-brasil/. Acesso em: 14 de junho de 2025.

[5] POMPONI, F.; HART, J.; AREHART, J. H.; D'AMICO, B. Buildings as a global carbon sink? A reality check on feasibility limits. **One Earth,** v. 3, p. 157-161.

[6] SIMS, J. T.; MA, L.; OENEMA, O.; DOU, Z.; ZHANG, F. S. Advances and challenges for nutrient management in Chinain the 21st century. Journal of Environmental Quality, v. 42, p. 947-950, 2014.

[7] WIESNER, S.; DESAI, A. R.; DUFF, A. J.; METZGER, S.; STOY, P. C. Quantifying the natural climate solution potential of agricultural systems by combining Eddy covariance and remote sensing. JGR Biogeosciences, v. 127, e2022JG006895, 2022.

[8] WU, X.; LÜ, Y.; ZHANG, J.; LU, N.; JIANG, W.; FU, B. Adapting ecosystem restoration for sustainable development in a changing world. **The Innovation,** v. 4, n. 1, e100375.

[9] YADAV, V.; MALANSON, G. P.; BEKELE, E.; LANT, C. Modeling watershed-scale sequestration of soil organic carbon for carbon credit programs. **Applied Geography,** v. 29, n. 4, p. 488-500, 2009.

Capítulo 2

Potássio na agricultura

Magna Maria Macedo Nunes Costa

Resumo: O potássio (K) é um nutriente essencial às plantas e desempenha um papel crucial em muitos processos fisiológicos vitais para o crescimento, a produção, a qualidade e a resistência a estresses em todas as culturas. A maior parte do K no solo não está disponível para a absorção pela planta. O elemento é geralmente classificado em quatro grupos de acordo com a sua disponibilidade: solúvel em água, trocável, não trocável e formas estruturais. O K solúvel em água está diretamente disponível às plantas e aos micróbios, e potencialmente sujeito à lixiviação. O K trocável está eletrostaticamente ligado às superfícies dos minerais de argila e das substâncias húmicas. Essas duas frações são consideradas facilmente disponíveis às culturas. Entretanto, o tamanho de ambos os "*pools*" é muito pequeno. As formas não trocável e estrutural são consideradas fontes de K lentas ou não disponíveis às plantas. Para a recomendação de adubação potássica, é fundamental a análise química do solo. O K exerce nas plantas as seguintes funções: ativação enzimática, síntese de proteínas, fotossíntese, osmorregulação, transporte no floema, transferência de energia e balanço cátion-ânion. É muito importante o desenvolvimento de plantas mais eficientes em termos de nutrição mineral com K para o desenvolvimento de uma agricultura de baixo insumo, a minimização dos gastos com fertilizantes potássicos e a sustentabilidade. Este trabalho tem como objetivo descrever a dinâmica do K na agricultura com ênfase nas culturas do algodão, do amendoim, do gergelim, da mamona e do sisal.

Palavras-chave: Adubação potássica, Algodão, Amendoim, Gergelim, Mamona, Sisal.

1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 1960 que a população mundial quase triplicou, passando de três para mais de oito bilhões de pessoas, e essa tendência persistirá nas próximas décadas. Devido a essa rápida expansão, faz-se necessário um aumento massivo na produção de alimentos, fibras e energia, para atender às demandas das gerações futuras e, ao mesmo tempo, preservar os recursos ecológicos e energéticos do nosso planeta. Adicionalmente, os modelos climáticos atuais predizem que as incidências e a duração dos períodos de estresses por seca e calor estão aumentando em muitas regiões, afetando negativamente nossas principais culturas agrícolas e, desse modo, nossa segurança alimentar. Portanto, os principais desafios para a agricultura são aumentar a produtividade das culturas com sistemas de produção mais eficientes em termos de recursos e estabilizar o desenvolvimento e a produtividade sob condições de estresses biótico e abiótico (Janni et al., 2024). Nesse contexto, entre os nutrientes essenciais às plantas, o potássio (K) desempenha um papel crucial em muitos processos fisiológicos vitais para o crescimento, a produção, a qualidade e a resistência a estresses em todas as culturas.

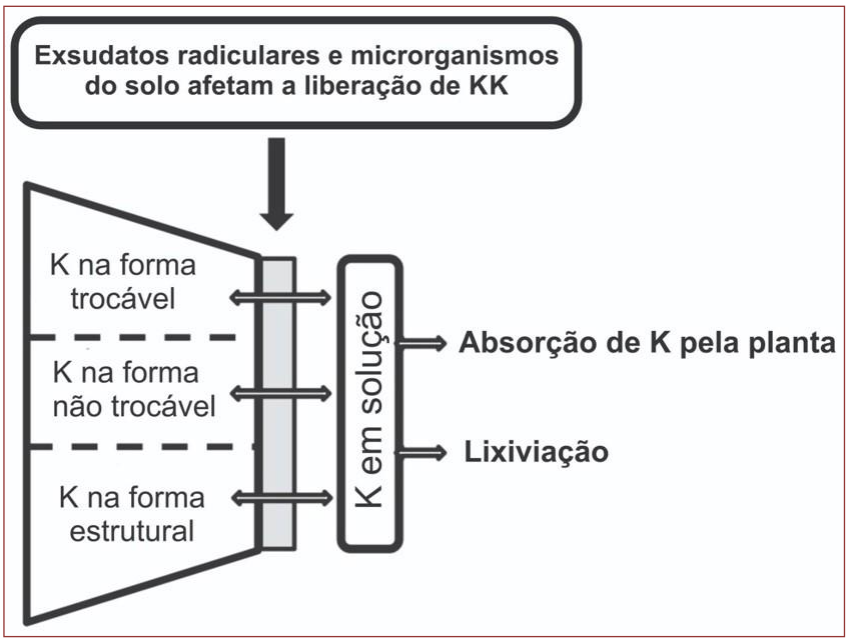
O K constitui cerca de 2,1% a 2,3% da crosta terrestre, sendo o sétimo ou oitavo elemento mais abundante. Dessa forma, as reservas de K no solo são geralmente grandes. Entretanto, o K é considerado indisponível em muitas áreas agrícolas ao redor do mundo, incluindo ¾ dos solos cultivados com arroz na China e ⅔ do cinturão de trigo no sul da Austrália (Römheld e Kirkby, 2010). Os solos que são naturalmente pobres em K são os arenosos, os alagados, os salinos ou os ácidos. Além disso, em sistemas agrícolas de produção intensiva, o K torna-se um nutriente limitante, particularmente naqueles de textura grosseira ou orgânicos. Em muitos casos, quando se aplica baixas taxas de fertilizantes potássicos, no contexto de uma fertilização desbalanceada, pode resultar em um esgotamento significativo das reservas de K disponíveis no solo e, portanto, na diminuição da fertilidade (Zörb et al., 2014). Em relação aos fertilizantes que contêm nitrogênio (N) e fósforo (P), os potássicos são aplicados numa taxa bem mais baixa, e menos de 50% do K removido pelas culturas é reposto pela adubação (Shao e He, 2010).

2. POTÁSSIO NO SOLO

Como os solos minerais contêm entre 0,04% e 3,00% de K total, o teor desse elemento na camada de 0 cm a 20 cm de profundidade da maior parte dos solos agrícolas varia geralmente entre 10 g kg^{-1} e 20 g kg^{-1}. Entretanto, a maior parte do K no solo (90% a 98%) está incorporada à estrutura cristalina dos metais e, desse modo, não diretamente disponível para a absorção pela planta. A disponibilidade de K difere grandemente entre os diferentes tipos de solos e é afetada pelas suas propriedades físico-químicas. Simplificando a complexa dinâmica de K no solo, o elemento é geralmente classificado em quatro grupos de acordo com a sua disponibilidade para as plantas: solúvel em água, trocável, não trocável e formas estruturais (Figura 1). O K solúvel em água está diretamente disponível para as plantas e os micróbios, e potencialmente sujeito à lixiviação. O K trocável está eletrostaticamente ligado, como um complexo de esferas externas, às superfícies dos minerais de argila e das substâncias húmicas. Essas duas frações são muitas vezes consideradas facilmente disponíveis para as culturas. Entretanto, o tamanho de ambos os *"pools"* é muito pequeno. Juntos, eles perfazem somente cerca de 0,1% a 0,2% e 1,0% a 2,0%, respectivamente, do K total no solo. As formas não trocável e estrutural são consideradas fontes de K lentas ou não disponíveis para as plantas. Entretanto, esses *"pools"* podem também contribuir significativamente

para o suprimento das plantas a longo prazo. As quantidades de K no solo, disponível e não disponível às plantas, variam grandemente entre os tipos de solos e as reações de equilíbrio dinâmico existentes entre os diferentes *"pools"* desse elemento. Assim, as propriedades físicas e químicas do solo, as interações planta-solo e a atividade biológica afetam a fixação e a liberação de K (Zörb et al., 2014).

Figura 1 - Inter-relação das formas de K e os efeitos dos microrganismos e dos exsudatos radiculares



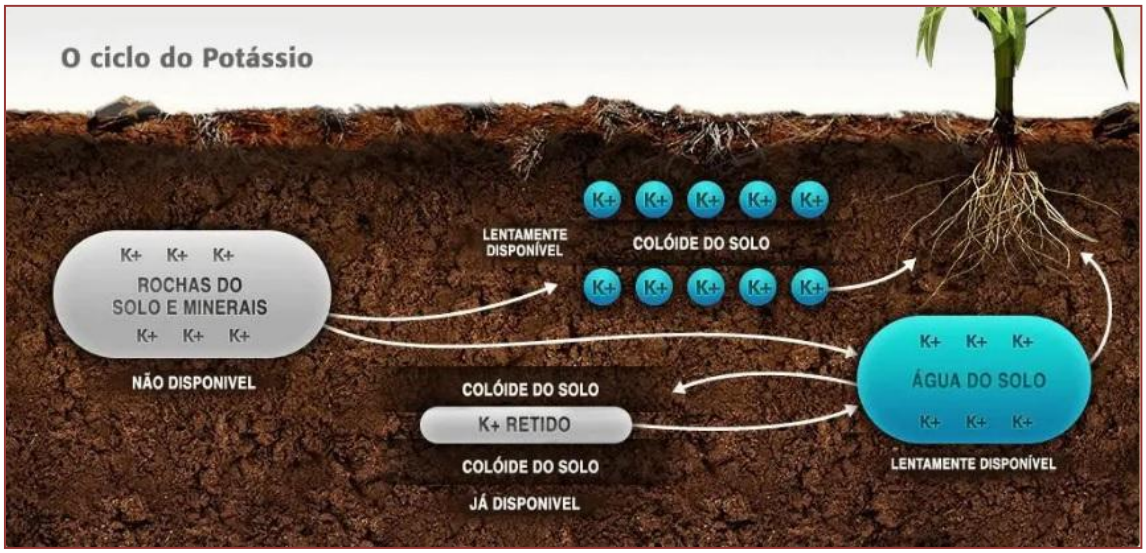
Diagramação: Sérgio Cobel da Silva

Fonte: Zörb et al. (2014).

A maior parte do K no solo está na forma estrutural, composta principalmente por minerais primários que contêm o elemento, tais como muscovita, biotita e feldspatos. Os feldspatos podem liberar K diretamente para a solução do solo, enquanto o K contido entre as camadas de micas é mantido firmemente ligado por forças eletrostáticas. O intemperiemo dos feldspatos e das micas provenientes dos materiais de origem do solo produzem minerais secundários que representam a fonte potencial de K disponível às plantas. O K nas micas trioctaédricas (como biotita e flogopita) é o mais facilmente liberado pelo intemperismo. Dessa forma, a aplicação de biotita a solos deficientes em K pode aumentar o teor desse nutriente disponível às plantas (Öborn et al., 2005). A formação de minerais expansíveis dioctaédricos 2:1 a partir da biotita é uma forma de aumentar a quantidade de K na solução do solo. Entretanto, o intemperismo de minerais primários contendo K é muito lento. Daí, aplicar apenas biotita como fonte de K pode prejudicar o crescimento da planta, especialmente quando comparada aos fertilizantes solúveis. Entretanto, a adição de pó-de-rocha potássico (minerais primários contendo K) pode aumentar a fertilidade do solo a longo prazo em relação ao potássio, pois aumenta o K depositado no sistema. Espécies de plantas eficazes na absorção de K e populações microbianas solubilizadoras desse elemento podem ser dois outros fatores-chave a

controlarem a liberação de K dos minerais do solo (Zörb et al., 2014). A Figura 2, a seguir, ilustra o ciclo do K no solo.

Figura 2 – Ciclo do potássio no solo



Fonte: Duarte (2024).

Alguns microrganismos do solo (por exemplo, *Pseudomonas* spp., *Burkholderia* spp., *Acidothiobacillicus ferrooxidans*, *Bacillus mucilaginosus*, *Bacillus edaphicus*, *Bacillus megaterium*) são capazes de liberar K dos minerais que os contém pela excreção de ácidos orgânicos. Esses ácidos dissolvem diretamente o K da rocha (minerais primários contendo K) ou quelam os íons de silício do mineral primário para trazer o K para a solução. Portanto, a inoculação de microrganismos solubilizadores de K juntamente com a aplicação de pó-de-rocha potássico ao solo têm ganhado recentemente muita atenção. Os exsudatos desses microrganismos podem aumentar de forma efetiva a liberação de K dos minerais de argila. A aplicação ao solo de micas e/ou feldspatos inoculados com microrganismos solubilizadores de K podem aumentar a solubilidade do elemento na solução bem como a sua absorção pelas raízes das plantas (Sharma et al., 2024).

A utilização de fontes não trocáveis de K é um importante fator para a eficiência da absorção do nutriente pelas plantas. Espécies vegetais ou genótipos dentro de espécies diferem entre si em relação à sua capacidade de usar essas fontes. A diferença entre as culturas na absorção de potássio é geralmente atribuída não somente à eficiência na absorção, mas também à mobilização de K não trocável pelos exsudatos radiculares. Os principais compostos liberados são os ácidos orgânicos tais como os ácidos cítrico, oxálico, tartárico e málico. Também, os aminoácidos encontrados nos exsudatos radiculares aumentam a liberação de K dos minerais de argila. Quando a depleção do K na rizosfera cai abaixo de um nível limite (10µM – 20µM), ocorre um sinal-chave para ativar os mecanismos moleculares que culminam com a produção de exsudatos radiculares (Schneider et al., 2013). Os ácidos orgânicos são conhecidos por facilitar o intemperismo dos minerais do solo por meio da formação de complexos metal-composto orgânico e por aumentar a troca de H^+ por K^+. Um melhor entendimento dos mecanismos envolvidos na liberação de K dos minerais do solo é a chave para o desenvolvimento de novas

abordagens para uma agricultura sustentável. No entanto, a origem do K absorvido pelas culturas e a contribuição do K não trocável são extremamente difíceis de se estimar devido à falta de métodos adequados em condições de campo ou mesmo em experimentos de laboratório. Mas, podemos concluir que as culturas têm diferenças entre si na transformação de K não trocável em formas solúveis. Dessa forma, em áreas onde o K é limitado, a seleção de espécies e variedades que sejam eficientes em solubilizar o K via exsudatos tem um grande potencial para aumentar a eficiência no uso desse nutriente (Zörb et al., 2014).

Além de liberarem K, os minerais do solo podem também fixá-lo, afetando significativamente a sua disponibilidade. A fixação está relacionada à adsorção dos íons K^+ nas camadas intermediárias entre lâminas intemperizadas de silicato, como a ilita e a vermiculita. O grau de fixação de K nos solos depende do tipo de mineral de argila e da sua densidade de cargas, da umidade do solo, da competição entre os íons e do pH do solo. Montmorilonita, vermiculita de micas intemperizadas são os principais minerais de argila que tendem a fixar o K. Além disso, a umidificação e a secagem do solo também afetam significativamente a fixação do K, por expandir e contrair, respectivamente, as argilas. O processo de fixação desse elemento é relativamente rápido, ao passo que a liberação do K fixado é muito lenta devido à forte força de ligação entre K e minerais de argila. A fixação ou a liberação desse nutriente no solo é altamente dependente da concentração de K na solução. Em adição aos ácidos orgânicos, a concentração de H^+ na solução do solo (via pH do solo) parece desempenhar um papel chave na liberação de K dos minerais de argila. Portanto, a otimização do pH do solo pode ser uma maneira de aumentar a liberação de K. Para otimizar as práticas de manejo de fertilizantes potássicos, é crucial entender os fatores que regulam a liberação de K do *"pool"* não trocável do solo (Portela et al., 2019).

Não há dúvidas sobre a capacidade do K de impactar a estrutura do solo bem como de aumentar a retenção de água. A aplicação de fertilizantes minerais potássicos melhora a estabilidade estrutural dos solos arenosos em particular. Esse efeito é devido a um aumento na concentração de eletrólitos na solução do solo, causando floculação e precipitação de sais cristalizados. Também, uma maior concentração de K na solução do solo pode causar um aumento na resistência ao microcisalhamento, o que pode explicar a mudança na retenção de água. Entretanto, Mg^{2+} e Ca^{2+} são cátions mais efetivos para estabilizar a estrutura do solo, uma vez que os poderes floculantes de K^+, Mg^{2+} e Ca^{2+} são, respectivamente, 1,7; 27,0 e 43,0, respectivamente. Maior retenção de água significa uma garantia da produtividade do solo em áreas com limitação hídrica. Portanto, mais informações são necessárias para entender o efeito da fertilização com K nas propriedades físicas e na capacidade de retenção de água do solo (Raghavendra et al., 2021).

3. ADUBAÇÃO POTÁSSICA

Na produção agrícola, a adubação é feita não apenas para assegurar, mas também para sustentar um suprimento adequado de K solúvel às culturas. No entanto, as taxas e os períodos de aplicação de adubos orgânicos e inorgânicos são muitas vezes baseados no suprimento ótimo de N e não nos requerimentos de K. Isso pode levar a um excesso ou a um abaixamento de K, dependendo da cultura e das características do solo (Xu et al., 2020). Portanto, o monitoramento das reservas de K do solo é extremamente importante para tornar as recomendações de adubação potássica precisas.

Para a recomendação de adubação potássica, é fundamental a análise química do solo, sendo de grande importância o processo de amostragem, que deve garantir a representatividade da condição geral de K da área. Um erro nesse processo pode comprometer as etapas seguintes para a definição das quantidades de adubo aplicadas na cultura. A profundidade da amostragem, para a maioria das plantas cultivadas, deve ser feita, pelo menos, de 0 a 20 cm. No cultivo de frutíferas e silvícolas, a camada de 20 a 40 cm de profundidade também deve ser amostrada. A área a ser amostrada deve ser dividida em estratos, glebas ou talhões de, no máximo, 10 hectares, homogêneos em relação aos seguintes aspectos: cor, topografia, textura, drenagem, grau de erosão, tipo de vegetação ou cultura anterior, histórico de uso, manejo e produtividade agrícola. Para cada talhão homogêneo e profundidade, deverá ser formada uma amostra composta (Figura 3), constituída de amostras simples coletadas separadamente, caminhando-se ao acaso em ziguezague (Figura 4). Posteriormente, devem ser misturadas para formar a amostra composta, que será encaminhada ao laboratório. O número de amostras simples não deve ser inferior a 10 pontos por talhão homogêneo. Vale lembrar que quanto maior o número de amostras simples, maior será a representatividade da amostra composta (Borges e Accioly, 2020).

Figura 3 – Divisão da área heterogênea em três talhões homogêneos

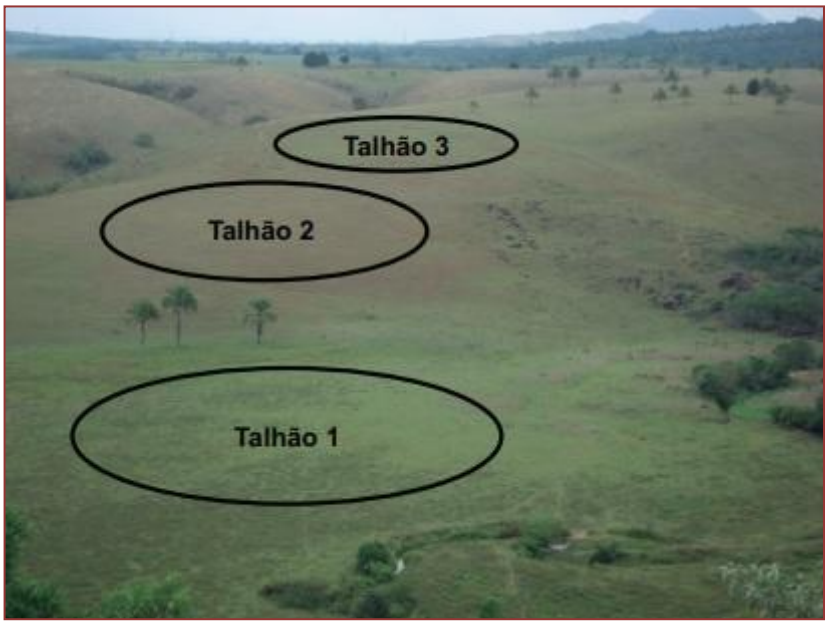


Foto: Luciano da Silva Souza

Fonte: Borges e Accioly (2020).

Figura 4 – Coleta de amostras simples em ziguezague em dois talhões homogêneos

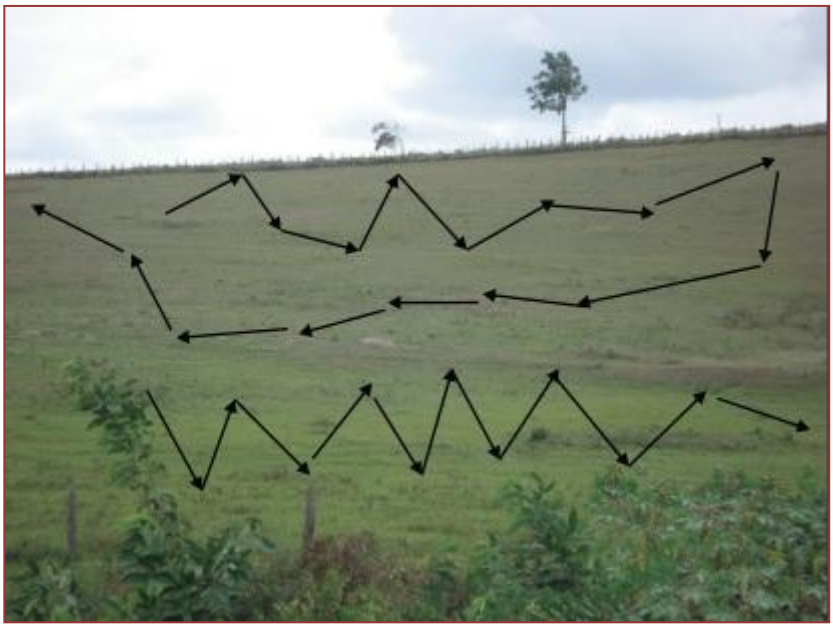


Foto: Luciano da Silva Souza

Fonte: Borges e Accioly (2020).

A precisão e a exatidão da amostragem devem ser de modo a, subsequentemente, podermos afirmar, com o mínimo de dúvidas possível, o quanto de adubo potássico é necessário para aplicar.

Métodos simples de extração de solo para medição de K trocável são amplamente usados para estimar a demanda de adubos potássicos de uma cultura. A estimativa de K trocável do solo, com acetato de amônio, cloreto de amônio, cloreto de cálcio ou fluoreto de amônio (Mehlich 3), de amostras de solo secas ao ar ou em estufa é o teste de solo mais amplamente usado para K e fornece a base para a maioria das recomendações de adubação potássica ao redor do mundo (Zörb et al., 2014). Nesse caso, o procedimento de preparação inclui a secagem de amostras de solo a um máximo de 40ºC e a trituração para que possa passar em uma peneira de 2 mm a fim de fornecer uma mistura homogênea para análise. Entretanto, é amplamente reconhecido que a secagem de amostras de solo pode influenciar a quantidade de K extraída pelos extratores tradicionais. Pode haver um aumento no K extraível após a secagem (Zebec et al., 2017). Também, é postulado que solos com altos teores de K trocável tendem a fixar o elemento e solos com baixos teores de K trocável tendem a liberá-lo após a secagem (Steiner et al., 2015). O impacto da secagem da amostra sobre o K extraído pelos testes que estimam o K trocável depende da mudança da concentração do elemento em equilíbrio no momento da amostragem e da mineralogia do solo. Solos ricos em ilita tendem a liberar K durante a secagem enquanto solos ricos em vermiculita e montmorilonita tendem a fixá-lo (Zörb et al., 2014). Outro método de extração de K, chamado de método de extração úmida (extração com acetato de amônio em solos de campos úmidos), apresenta uma melhor correlação entre a produção e o K absorvido pela cultura do que os métodos de extração de K de solos secos ao ar. Os testes de K com extração úmida têm uma capacidade superior em predizer as respostas das culturas à adubação potássica quando comparado ao método comumente usado de extração seca. No entanto, poucos laboratórios têm adotado os métodos de

extração úmida devido aos procedimentos impraticáveis, tais como o de peneirar solos úmidos (Barbagelata e Mallarino, 2012).

Os métodos de extração discutidos acima fornecem informação suficiente para recomendações de adubação em solos de textura leve, que não contêm minerais de argila do tipo 2:1. Em solos que contêm esses minerais, no entanto, o *"pool"* de K não trocável geralmente contribui amplamente, às vezes em mais de 50%, para o suprimento de K às culturas (Mengel e Kirkby, 2001). A medida do K do solo disponível às plantas, que é liberado das reservas não trocáveis, é muito difícil devido à complexidade do equilíbrio dinâmico entre as várias formas do elemento durante o ciclo das plantas. Dessa forma, não há métodos de rotina disponíveis para medir essa variável. No entanto, vários métodos foram estabelecidos para avaliar o K no solo lentamente ou potencialmente disponível. Por exemplo: extração com HCl 1 M, fervura em HNO_3 0,5 M ou 1,0 M, eletro-ultrafiltração, resinas de troca, teste de Jackson (tetrafenilborato de sódio, NaTPB) e balanços de campo (Zörb et al., 2014). No entanto, os métodos comuns de extração ácida removem somente uma proporção das reservas de K no *"pool"* não trocável. Em solos de textura leve, a fervura do solo com HNO_3 0,5 M prediz melhor o K disponível para a absorção pelas raízes das plantas do que outros métodos de extração ácida. Por outro lado, a fervura com HNO_3 1,0 M extrai mais K do que aquele disponível para as culturas (Øgaard and Krogstad, 2005).

Os fertilizantes potássicos são formados de depósitos geológicos salinos, sendo materiais com alta concentração de K_2O, solúvel em água e de ação rápida (Reetz, 2017).

- Cloreto de potássio (KCl) ou muriato de potássio (MOP): A maioria dos depósitos de K ocorre como KCl (silvita) ou misturado com NaCl (halita) no mineral silvinita, geralmente em antigos depósitos marinhos enterrados profundamente abaixo da superfície da Terra. No processamento, o mineral, é moído e KCl mais NaCl são separados. O KCl tem 60% a 63% de K_2O (50% a 52% de K e 45% a 47% de Cl). É usualmente aplicado na superfície à lanço antes da aração, ou aplicado em sulcos, próximo à linha das sementes. Por causa do alto teor de sal, o KCl não deve ser colocado em contato direto com a semente. Ele se dissolve prontamente na solução do solo liberando K^+ e Cl^-. O K^+ se liga aos locais de troca de cátions das argilas e da matéria orgânica. A maior parte do fertilizante KCl é branca, mas alguns materiais podem ser avermelhados devido à presença de pequenas quantidades de óxido de ferro; mas ambos são idênticos para uso agrícola. Formas puras de KCl podem ser dissolvidas para uso como fertilizante fluído ou aplicação na água de irrigação.

- Sulfato de potássio (K_2SO_4) ou sulfato de potassa (SOP): Tem 48% a 53% de K_2O e 17% a 18% de S. O sulfato de potássio é encontrado em depósitos minerais misturado com outras substâncias. Os componentes são separados pela lavagem com água. O K do sulfato de potássio funciona de modo semelhante ao KCl, mas é também uma fonte importante de enxofre onde o solo é deficiente nesse nutriente. O sulfato de potássio é menos solúvel do que o cloreto de potássio. Desse modo, não é comumente usado na água de irrigação. Mas o sulfato de potássio é algumas vezes aplicado na forma de pulverização foliar se ambos, K e S, são necessários. É também usado para fornecer K às plantas sensíveis ao Cl.

- Sulfato de potássio e magnésio ($K_2SO_4.2MgSO_4$): É também chamado de langbeinita, sulfato de potássio e magnésia ou comercialmente de sulpomag. A langbeinita é um mineral encontrado em poucos locais no mundo. Ele vem de minas abaixo do solo próximo a Carlsbad (Alemanha) e Novo México (EUA). A langbeinita tem 21% a 22% de K_2O, 10% a 11% de Mg e 21% a 22% de S. É um fertilizante popular onde os três nutrientes são

necessários. Ele é solúvel em água, mas se dissolve lentamente, de modo diferente de outros fertilizantes contendo Mg e S. Tem um efeito neutro no pH do solo.

- Nitrato de potássio (KNO_3) ou salitre potássico: É um fertilizante popular para culturas de alto valor que necessitam de N na forma de nitrato e também do K. É especialmente popular como fonte de K para culturas que são sensíveis ao Cl. Tem 13% de N e 44% a 46% de K_2O. Pode ser aplicado ao solo ou como tratamento foliar para estimular o desenvolvimento dos frutos quando a atividade radicular está declinando. É também uma fonte comum de nutrientes para fertirrigação.

- Vários resíduos industriais contendo K (por exemplo, poeira de filtros) têm sido desenvolvidos para uso como formas de ação lenta, especialmente onde se deseja evitar perdas por lixiviação.

Os fertilizantes potássicos devem ser, geralmente, aplicados na época do plantio. Os íons de K^+ são adsorvidos no solo, permanecendo disponíveis, largamente protegidos contra a lixiviação. Entretanto, dividir as aplicações é recomendável para algumas culturas em solos e climas onde são esperadas altas taxas de perdas por lixiviação. Alguma imobilização dentro das camadas da estrutura de certas argilas reduz a disponibilidade, mas fixação forte para formas completamente indisponíveis é restrita a uns poucos tipos especiais de solos. A taxa de utilização de K nos fertilizantes é cerca de 50% a 60% (Reetz, 2017).

4. POTÁSSIO NAS PLANTAS

As concentrações de K nas plantas variam amplamente com o local, o ano, a espécie plantada e o tipo de fertilizante usado. São encontradas numa faixa que vai de 0,4% a 4,3% (Askegaard et al., 2004). A concentração de K no citoplasma é mantida relativamente constante na faixa de 50 mM a 150 mM, enquanto a concentração no vacúolo varia amplamente de acordo com o *"status"* da planta em K. Juntamente com os ânions acompanhantes (NO_3^-, Cl^-, malato, citrato), o K vacuolar determina grandemente o potencial osmótico da seiva celular. Altas concentrações de K nas culturas têm sido muitas vezes relacionadas a "consumo de luxo". Entretanto, conforme será visto, a acumulação de K pelas culturas durante o crescimento da planta pode ser considerada como uma "estratégia de segurança" para habilitá-la a sobreviver melhor durante um estresse ambiental repentino (Zörb et al., 2014).

As espécies de plantas diferem em seus requerimentos por K e em suas habilidades para absorver esse elemento. As diferenças na absorção de K entre as diferentes espécies de plantas são atribuídas a variações na estrutura da raiz, tais como densidade radicular, profundidade de enraizamento e comprimento dos pelos radiculares. Existem correlações positivas entre eficiência de absorção de K e comprimento dos pelos radiculares ou sistemas radiculares mais densos. Essas duas variáveis morfológicas podem esgotar o K em volumes maiores de solução do solo, e essa depleção pode iniciar a liberação do K não trocável (Shin, 2014).

O K exerce na planta as seguintes funções (Rengel et al., 2023):

4.1. ATIVAÇÃO ENZIMÁTICA

O K é considerado essencial ao funcionamento de mais de 50 enzimas, atuando como cofator ou efetor alostérico. Enzimas como sintetases e quinases dependem do K para sua atividade normal. O K está relacionado às mudanças na conformação das moléculas, a qual aumenta a exposição dos sítios ativos para ligação com o substrato. Em geral, as mudanças de conformação induzidas pelo K^+ nas enzimas aumentam a taxa das reações catalíticas (V_{max}) e/ou a afinidade pelo substrato (K_m).

4.2. SÍNTESE DE PROTEÍNAS

O K é crítico para a estrutura e o funcionamento dos ribossomos. O RNA ribossômico (rRNA), que catalisa e regula a síntese de proteínas, depende de íons metálicos, incluindo o K, para o seu funcionamento adequado. Declínios na concentração de K citossólico devido a deficiência desse elemento no solo pode inibir significativamente a síntese de proteínas. Em folhas verdes, o cloroplasto contém cerca da metade de todo RNA e de toda proteína da célula. Nas espécies C3, a maior parte das proteínas dos cloroplastos é a rubisco. Consequentemente, a síntese dessa enzima é particularmente prejudicada sob deficiência de K, respondendo rapidamente ao seu restabelecimento. Sob deficiência de K, os tecidos vegetais acumulam compostos solúveis nitrogenados (aminoácidos, amidas e nitrato).

4.3. FOTOSSÍNTESE

O K influencia a fotossíntese anatomicamente, fisiologicamente e bioquimicamente. Ele desempenha papel fundamental na condutância do CO_2 no mesófilo, na estrutura do cloroplasto, na atividade da rubisco e no transporte de fotoassimilados via floema. O efeito do K na fixação do CO_2 foi inicialmente demonstrado em cloroplastos isolados, onde um aumento na concentração externa desse elemento até 100 mM estimulou a fixação do CO_2 três vezes. Sob iluminação, influxo adicional de K do citosol é requerido para manter um alto pH no estroma, necessário para a atividade ótima da rubisco.

Como principal osmólito inorgânico da célula, o K é crítico para a regulação do turgor das células-guarda e, dessa forma, para o movimento estomático e a difusão do CO_2. A deficiência de K resulta muitas vezes no decréscimo da condutância estomática, o que pode ter um efeito negativo sobre a fotossíntese. Essas mudanças estão comumente associadas com mudanças na anatomia foliar, tais como decréscimo na espessura da folha, células do mesófilo menores e redução do espaço aéreo interno da folha

A fotorrespiração decresce em resposta à deficiência de K. Isso pode ser devido à depleção de CO_2 nos sítios catalíticos da rubisco. Por outro lado, a respiração escura aumenta sob deficiência desse nutriente, podendo refletir em maior disponibilidade de substrato (açúcar).

A atividade fotossintética é influenciada pelo transporte e pela utilização de fotoassimilados. O aumento no acúmulo de sacarose em folhas de plantas deficientes em K pode exercer um *"feedback"* negativo sobre a assimilação de CO_2 por limitar a sua absorção pelas células do mesófilo e decrescer a atividade da rubisco.

A elevação no teor de CO_2 atmosférico melhora a atividade fotossintética das plantas, principalmente as C_3. Entretanto, quando as plantas sofrem de deficiência de K, o impacto positivo esperado na elevação do CO_2 atmosférico fica significativamente prejudicado.

4.4. OSMORREGULAÇÃO

Um alto potencial osmótico no estelo da raiz é um pré-requisito para o transporte de solutos dirigido pela pressão de turgor no xilema e para o balanço hídrico das plantas, sendo o K um elemento fundamental nesses processos.

a) Extensão Celular

A extensão celular envolve a formação de um grande vacúolo central ocupando entre 80% e 90% do volume da célula. Há três requisitos principais para a extensão da célula: (1) extensibilidade celular (reorganização ou afrouxamento da parede celular), (2) síntese e deposição dos componentes da parede celular recém-formada) e (3) acumulação de solutos para criar o potencial osmótico interno necessário para a pressão de turgor. Na maior parte dos casos, a extensão celular é devido ao acúmulo de K nas células, o qual é requerido para estabilizar o pH no apoplasto e no citoplasma e para abaixar o potencial osmótico nos vacúolos. Um decréscimo no pH apoplástico é necessário para ativar as enzimas envolvidas no afrouxamento da parede celular.

A extensão celular nas folhas e nas raízes está correlacionada positivamente com o teor de K. A deficiência desse nutriente reduz o turgor, o tamanho da célula e a área foliar. Além disso, uma taxa reduzida de expansão foliar é um indicador altamente sensível de deficiência de K nas plantas cultivadas. Açúcares e outros solutos orgânicos de baixo peso molecular também contribuem para o potencial osmótico e a expansão celular dirigida pelo turgor. Entretanto, essa contribuição depende do estado nutricional da planta em K. Após finalizada a expansão celular, o K^+ pode ser substituído, para a manutenção do turgor nos vacúolos, por outros solutos tais como Na^+ ou açúcares redutores.

b) Movimento Estomático

Na maior parte das espécies de plantas, o K^+ e os seus contra-íons acompanhantes desempenham um papel fundamental nas mudanças de turgor das células-guarda durante o movimento de abertura e fechamento dos estômatos. Um aumento na concentração de K nas células-guarda resulta num decréscimo do potencial osmótico e, dessa forma, na absorção de água das células adjacentes, resultando em um aumento do turgor dessas células e, consequentemente, na abertura dos estômatos.

O fechamento dos estômatos é induzido pelo escuro, pela desidratação da planta e pelo fitormônio ABA, e está associado com o rápido efluxo de K e seus ânions acompanhantes das células-guarda. Ao contrário da abertura estomática que é feita por transporte ativo, o fechamento dos estômatos é devido a liberação de solutos ao longo de um gradiente de concentração. O fechamento estomático está associado com um forte aumento nas concentrações de K e Cl no apoplasto das células-guarda.

c) Movimentos Fotonásticos e Seismonásticos

Nas folhas de muitas plantas, particularmente nas fabáceas, as folhas reorientam sua lâmina fotonasticamente em resposta a um sinal luminoso, seja não direcional (ritmo circadiano; por exemplo, lâminas foliares que se dobram no escuro e se desdobram na luz) ou direcional (por exemplo, reorientação em direção a uma fonte de luz). Essas respostas fotonásticas aumentam a interceptação de luz ou previnem danos por excesso de luz. Os movimentos de folhas e folíolos são provocados por mudanças reversíveis no turgor de tecidos especializados (órgãos motores ou pulvini). As mudanças de turgor causam encolhimento e inchaço nas células (extensor e flexor, respectivamente) do órgão motor. Os principais solutos envolvidos na osmorregulação são K^+, Cl^- e malato, induzindo

o fluxo de água através da membrana plasmática, e particularmente pelas aquaporinas, seguido pela mudança de volume e pelo movimento do folíolo. Os princípios do mecanismo responsáveis pelo movimento estomático também se aplicam ao movimento nas folhas e nos folíolos.

Embora mecanismos similares sejam responsáveis pelo movimento de folhas e outras partes das plantas em resposta à luz e estímulos mecânicos, há diferenças na velocidade de resposta aos sinais sismonásticos. Em *Mimosa pudica*, os folíolos se dobram em poucos segundos e reabrem depois de cerca de 30 minutos. Essa resposta regulada pelo turgor está correlacionada com a redistribuição de K dentro do órgão motor e a liberação repentina da sacarose do floema. Em reações sismonásticas, também ocorre um rápido transporte de longa distância do "sinal" do folíolo tocado para outros folíolos. Esse "sinal" é um potencial de ação, que é carregado no floema para os órgãos motores a uma alta volocidade, induzindo a descarga de sacarose do floema para o órgão motor.

4.5. TRANSPORTE NO FLOEMA

O K tem importantes funções no carregamento de sacarose e na taxa de transporte de solutos dirigido por fluxo de massa nos tubos crivados do floema. Essas funções do K estão relacionadas a (1) necessidade de manutenção de um alto pH nos tubos crivados para o carregamento da sacarose e (2) contribuição do K para o potencial osmótico nos tubos crivados e, portanto, para a taxa de transporte de fotoassimilados da fonte para o dreno. O papel do K no carregamento do floema e na partição de fotoassimilados fica evidente pela comparação da distribuição relativa de carboidratos entre a parte aérea e as raízes de plantas suficientes e deficientes em K. O transporte de fotoassimilados para as raízes é fortemente reduzido em plantas deficientes em K.

Um menor transporte de assimilados para os drenos resulta em raízes com crescimento reduzido em plantas deficientes de K. Em comparação com plantas deficientes nesse elemento, os nódulos radiculares das leguminosas com suprimento adequado em K têm mais açúcares, o que aumenta a sua taxa de fixação de N_2 e a exportação de compostos nitrogenados.

O transporte de aminoácidos no floema é afetado tanto pelo processo de carregamento da sacarose como pela pressão osmótica (fluxo de massa) nos tubos crivados. Dessa forma, qualquer comprometimento no carregamento da sacarose ou no fluxo de massa no floema devido a deficiência de K causa um correspondente declínio no transporte de aminoácidos pelo floema. Assim, um dos efeitos positivos da nutrição potássica adequada na planta é o aumento do teor de proteínas nas sementes, o que está relacionado ao aumento no transporte de aminoácidos.

4.6. TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA

Além do seu papel no transporte de assimilados, a circulação de K no floema pode servir como um estoque de energia descentralizada que pode ser usado em um local específico na planta onde haja necessidade, como por exemplo em uma área sombreada. Nesse caso, há uma captação de K e sua consequente liberação para dentro do floema, seguida do carregamento e descarregamento sob condições limitantes de energia.

4.7. BALANÇO CÁTION-ÂNION

O K desempenha um papel fundamental no balanço de cargas aniônicas em diferentes organelas tais como cloroplastos e vacúolos, bem como no xilema e no floema. O papel do K^+ no balanço cátion-ânion é importante no metabolismo do nitrato (NO_3^-), onde o K^+ é muitas vezes o contra-íon dominante para esse ânion no transporte à longa distância no xilema, bem como para o seu armazenamento nos vacúolos. À medida em que o NO_3^- é reduzido nas folhas, o K^+ remanescente requer a síntese estequiométrica de ânions de ácidos orgânicos para o balanço de cargas; assim, K^+ e malato podem ser transportados para as raízes para subsequente utilização de K^+ como um contra-íon para o NO_3^- para o transporte pelo xilema. Em leguminosas noduladas, essa recirculação de K^+ pode ter uma função similar no transporte de amonoácidos no xilema.

5. SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE POTÁSSIO

A Figura 5 a seguir mostra sintomas de deficiência de K em milho.

Figura 5 – Sintomas de deficiência de potássio (K) em plantas de milho: detalhe da necrose da ponta e margem das folhas mais velhas

Fotos: Magna Maria Macedo Nunes Costa

Fonte: Adaptado de Ferreira (2012)

Os sintomas de deficiência de K no milho começam a aparecer quando as plantas ainda são jovens e ocorrem inicialmente nas folhas mais velhas porque o K é um nutriente facilmente móvel no floema (Ferreira, 2012). O sintoma característico é uma necrose que aparece nas pontas das folhas evoluindo para baixo, nas bordas do limbo (Figura 5). Como nas pontas e nas bordas do limbo foliar encontram-se as terminações dos vasos do xilema, a planta deficiente em K vai sofrer falta desse elemento nessa parte da folha, deixando o K de realizar normalmente suas funções como ativação enzimática, síntese de proteína, fotossíntese e osmorregulação, ficando ressecada (morta). Essa necrose pode evoluir para a nervura central.

A Figura 6 a seguir mostra sintomas de deficiência de K em feijão-caupi.

Figura 6 – Sintomas de deficiência de potássio (K) em plantas de feijão-caupi: manchas pardas espalhadas por todo o limbo foliar

Fotos: Magna Maria Macedo Nunes Costa.

Os sintomas de deficiência de K no feijão-caupi ocorrem inicialmente nas folhas mais velhas porque o K é um nutriente facilmente móvel no floema (Ferreira, 2012). O sintoma característico são manchas pardas que se espalham por todo o limbo foliar. À medida em que as folhas envelhecem, essas manchas evoluem para necrose. Esses sintomas estão relacionados com as funções já discutidas que o K exerce nas plantas – ativação enzimática, síntese de proteínas, osmorregulação, transporte no floema, transferência de energia e balanço cátion-ânion.

A Figura 7 a seguir mostra sintomas de deficiência de K em sorgo-sacarino.

Figura 7 – Sintomas de deficiência de potássio (K) em folhas de sorgo-sacarino. Manchas escuras avermelhadas e necrose de formato retilíneo

Fotos: Oscar Fontão de Lima Filho

Fonte: Lima Filho (2014).

Inicialmente, nas folhas mais velhas, há ocorrência de manchas escuras avermelhadas e necrose de formato retilíneo ao longo das nervuras secundárias e das bordas, começando das extremidades para a nervura principal, além de secamento da ponta da folha. Ocorre, também, enrolamento parcial da borda para o centro no terço superior da folha e paralisação do crescimento dos internódios, dando à planta a aparência de um leque, com as bainhas das folhas sobrepostas (Figura 7).

Na Figura 8, observam-se os sintomas de deficiência de K em pinhão manso.

Figura 8 – Sintomas de deficiência de potássio (K) em plantas de pinhão manso. Manchas e pontuações, inicialmente cloróticas e depois necróticas, começando nas margens de folhas mais velhas

Foto: Oscar Fontão de Lima Filho

Fonte: Lima Filho (2020).

Os sintomas de deficiência de K no pinhão manso ocorrem inicialmente nas folhas mais velhas porque o K é um nutriente facilmente móvel no floema (Ferreira, 2012). Os sintomas característicos são manchas e pontuações, inicialmente cloróticas e depois necróticas (Figura 8). Posteriormente, pode ocorrer murchamento (Lima Filho, 2020).

A Figura 9 a seguir mostra sintomas de deficiência de K em algodão (Borin et al., 2013).

Figura 9 – Sintomas de deficiência de potássio (K) em plantas de algodoeiro. Foto à esquerda: Evolução dos sintomas de deficiência de potássio nas folhas de algodoeiro (da esquerda para a direita). Foto à direita: Sintoma tradicional de deficiência de potássio nas folhas mais velhas do "baixeiro" em algodoeiro

Fotos: Gilvan Barbosa Ferreira

Fonte: Adaptado de Borin et al. (2013).

6. SINTOMAS DE EXCESSO DE POTÁSSIO

Apesar das plantas cultivadas terem consumo de luxo de potássio (Kaminski et al., 2007), não há um sintoma característico de excesso desse nutriente. Algumas vezes, a sintomatologia de excesso confunde-se com danos causados por salinidade do solo devido à solubilidade dos fertilizantes potássicos. Altos teores de K no solo pode induzir nas plantas sintomas de deficiência de cálcio e magnésio (Mengel e Kirkby, 2001).

7. EFEITO DO POTÁSSIO NO SOLO SOBRE AS CULTURAS DO ALGODÃO, DO AMENDOIM, DO GERGELIM, DA MAMONA E DO SISAL

7.1. ALGODÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é a cultura de maior importância no mercado internacional de *commodities*. O desempenho da safra 2023/2024 de algodão, com uma colheita de mais de 3,7 milhões de toneladas, elevou o Brasil ao posto de maior produtor do mundo. O país também se tornou, oficialmente, e pela primeira vez na história, o maior exportador de algodão do mundo, superando os Estados Unidos (Silva, 2024). Esse resultado se deu graças às pesquisas e inovações nas áreas de melhoramento genético, controle biológico, biotecnologia, mecanização agrícola, sanidade vegetal e sistemas de produção, possibilitando o aumento da produtividade de algodão ao nível de pequenos, médios e grandes cotonicultores do Brasil.

Uma das etapas mais importantes do sistema produtivo é a adubação. Plantas bem nutridas quantitativamente e proporcionalmente têm maior potencial para enfrentar estresses bióticos e abióticos. O K é o segundo nutriente mais exigido em quantidade pela cultura do algodoeiro, ficando atrás apenas do N. Ele é essencial para garantir altas produtividades, boa qualidade da fibra e resistência a pragas e doenças. Participando de diversas funções nas plantas, como ativação enzimática, síntese proteica, transporte no floema e osmorregulação, o K é muito importante na amenização de estresses bióticos e

abióticos. Em ambientes onde há estresse hídrico, o K auxilia o algodoeiro a reduzir a perda de água por transpiração. Isso é particularmente importante em regiões semiáridas, onde o algodoeiro é muitas vezes cultivado. O K aumenta a deposição de celulose nas paredes internas das fibras, melhorando o índice Micronaire, principal indicador do tamanho, da resistência e da qualidade da fibra. Também tem efeito positivo na uniformidade da fibra, aumentando o seu valor comercial na indústria têxtil, que exige matéria-prima de alta qualidade. Dessa forma, é importante que o cotonicultor priorize a adubação potássica (Borin et al., 2013).

O algodoeiro é uma cultura muito responsiva ao K em termos de produtividade e qualidade de fibra, especialmente sob condições adequadas de umidade do solo, altas temperaturas e alta intensidade luminosa. Apesar disso, é uma cultura que apresenta uma taxa diária de consumo hídrico relativamente baixa (cerca de 6,5 mm dia^{-1}, na fase de maior demanda transpiratória), mesmo em climas quentes e com suprimento adequado de água no solo. No caso de variedades precoces, o consumo hídrico durante o ciclo vegetativo não ultrapassa 450 mm. Nas variedades modernas, no final do ciclo, é comum ocorrer deficiência de K, pois coincide com épocas de menor precipitação pluviométrica. Como a maior parte do K depende da água para ser transportado para perto das raízes, pode ocorrer uma deficiência do nutriente no final do ciclo da planta (Oliveira et al., 2004).

No geral, o algodoeiro não se destaca como uma planta com alta densidade de raízes quando comparada, por exemplo, ao milho, à soja e ao amendoim. A taxa de depleção de K na rizosfera está em torno de 30% e geralmente não ultrapassa 5 a 10 mm da raiz, uma distância muito pequena quando comparada a outras plantas cultivadas. A taxa de absorção de K pelas raízes do algodoeiro depende da densidade, do comprimento e da área superficial das raízes, características fortemente influenciadas pelo teor do nutriente no meio e suas interações com a estrutura, o pH e a umidade do solo. Esses fatores tornam-se especialmente importante na época de enchimento das maçãs (Rosolem et al., 2003).

O algodoeiro extrai K do solo a taxas que vão até 5,6 kg ha^{-1} dia^{-1} durante as fases de florescimento e frutificação. Para cada quilograma de fibra produzida é necessária a absorção de 0,13 kg de K, de modo que uma lavoura de algodão de alta produtividade pode retirar mais de 250 kg ha^{-1} de K do solo. O fruto, incluindo sua casca, é o dreno dominante de K na planta. A deficiência de K causa perdas na produção e na qualidade da fibra. A planta tem ciclo mais curto, com maturação antecipada e decréscimo na produção de frutos, fibras e sementes. À medida que a deficiência se torna mais severa, há redução na retenção de botões florais e frutos, além da queda prematura das folhas (Rosolem e Witacker, 2007).

Uma pesquisa foi conduzida por El-Gayed e Bashandy (2018) para estudar a resposta do algodoeiro à fertilização com K no solo e foliar. Os resultados mostraram que esse nutriente aumentou a altura das plantas, o número de ramos reprodutivos por planta, o número de flores por planta, o rendimento de algodão em caroço, a precocidade, o peso das sementes e os teores foliares de N, K, clorofilas *a* e *b*, especialmente sob condição adequada de umidade no solo. Sarhan e El Gayed (2022) demonstraram que o algodoeiro, quando submetido a estresse hídrico, diminui significativamente a absorção de nutrientes, a formação de pigmentos foliares, o crescimento vegetativo e as variáveis relacionadas à produção de algodão. Entretanto, esse efeito negativo pode ser recompensado com a aplicação de K, ou seja, esse nutriente aumenta a tolerância à seca do algodoeiro, provavelmente devido ao seu efeito na continuação da abertura estomática quando as plantas são submetidas a essa condição adversa.

7.2. AMENDOIM

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) pertence à família Fabaceae, sendo considerada uma importante planta leguminosa consumida em todo mundo devido a sua riqueza em calorias, óleos, proteínas e vitaminas. É originária da América do Sul, sendo já cultivada pelas populações indígenas antes da chegada dos colonizadores europeus. É consumido *in natura*, torrado, cozido ou industrializado. Seus subprodutos, óleo, farinha e farelo, são amplamente utilizados por possuírem alto teor de proteína (Sousa e Ferrarezi Junior, 2022). No Brasil, a produtividade de amendoim na safra 2021/2022 foi de 744 mil toneladas, 24,6% a mais do que na safra anterior, tendo São Paulo como o estado de maior área cultivada, com 179 mil hectares (CONAB, 2022).

Uma das etapas mais importantes do sistema produtivo é a adubação. Plantas bem nutridas quantitativamente e proporcionalmente têm maior potencial para enfrentar estresses bióticos e abióticos. O K é o segundo nutriente mais exigido em quantidade pela cultura do amendoim, ficando atrás apenas do N. Sendo importante na condutância estomática e no transporte de carboidratos, quando bem supridas com K, as plantas de amendoim são mais tolerantes à seca, usam mais eficientemente a água e são mais produtivas. No Brasil, segundo Cordeiro et al. (2023), a recomendação de K para o amendoim tipo runner é de 116 kg ha^{-1}, em solo com baixo teor do elemento, mas os agricultores aplicam 25 kg ha^{-1} de K no plantio e não realizam adubação de cobertura.

O amendoim remove muito K do solo por ocasião da colheita, resultando em depleção desse nutriente, o que leva à necessidade de estar sempre renovando as adubações potássicas. Além disso, em solos arenosos, que são os mais usados para o plantio dessa cultura, ocorre lixiviação, principalmente sob irrigação ou em áreas com alta precipitação. Segundo Meneghette et al. (2017), a adubação e a nutrição potássica do amendoim são assuntos discutíveis, uma vez que, apesar da grande capacidade de extração de K do solo apresentada por esta espécie vegetal, as respostas a critérios de fertilização a ela aplicados não podem ainda ser generalizados, principalmente devido ao grande poder de aproveitamento das adubações anteriores.

Uma pesquisa foi realizada por Almeida et al. (2015) para a avaliar o efeito do K sobre o estado nutricional e a produtividade de grãos de amendoim. Os tratamentos consistiram na aplicação de 30, 60, 90 e 120 kg ha^{-1} de K_2O e uma testemunha (sem K) na variedade Runner. O K resultou em aumento significativo no número de folhas e altura, teores de K (50 - 70 g kg^{-1}) e produtividade de grãos, obtendo-se 2.790 kg ha^{-1} na dose de 120 kg ha^{-1}. Um outro experimento foi realizado por Zoz et al. (2018) com o intuito de maximizar o rendimento do amendoim através da adubação potássica. Foram testadas as doses 0, 30 e 60 kg ha^{-1} de K_2O na semeadura da variedade Runner. A adubação com K promoveu aumento de cerca de 38% e 49%, respectivamente, no rendimento de vagens e grãos.

7.3. GERGELIM

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma planta anual herbácea originária do continente africano, pertencente à família das pedaliáceas. O seu cultivo ocorre em cerca de 71 países, especialmente dos continentes asiático e africano, sendo Índia e China responsáveis por 70% da produção mundial de sementes dessa oleaginosa, que é estimada em 3,6 milhões de toneladas, obtidas em 7,5 milhões de hectares e com produtividade média de 478,2 kg ha^{-1}. O Brasil produz cerca de 16 mil toneladas, produzidas em 25 mil hectares e com rendimento em torno de 650 kg ha^{-1} (Pontes et al., 2021).

O K é um elemento essencial para o crescimento, o desenvolvimento e a qualidade das cápsulas nas plantas de gergelim. Entretanto, se aplicado em excesso, pode interferir negativamente na absorção de Ca e Mg, tornando a planta deficiente nesses elementos. Segundo Arriel et al. (2007), a extração de K do solo pelo gergelim depende da produção, do estado nutricional e da variedade utilizada. Em geral a planta precisa de 60 kg ha^{-1} de K_2O para produzir 1.000 kg ha^{-1} de sementes. Desse total, os frutos podem responder por até 60% do K extraído. Para garantir a produtividade de plantios posteriores, essa quantidade precisa ser reposta pela adubação potássica.

As plantas de gergelim absorvem pouco K até o trigésimo dia após o plantio. A partir dessa data, a exigência da planta por esse nutriente cresce rapidamente até o final do ciclo (Arriel et al., 2007). A adubação potássica pode ser feita por ocasião do plantio junto à fosfatada ou parcelada em duas vezes junto à nitrogenada, de acordo com a capacidade de lixiviação do solo. Anjos et al. (2024), estudando a resposta de três cultivares de gergelim (BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda) a doses crescentes de K_2O (40, 60, 80 e 100 kg ha^{-1}), encontraram que as doses de 60 a 80 kg ha^{-1} foram as que proporcionaram os melhores resultados.

7.4. MAMONA

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma espécie pertencente à família Euphorbiaceae, sendo considerada como uma planta tóxica. Originária da Etiópia, se espalhou pelos países do Oriente Médio, Índia e China. Os principais países produtores são Índia, Moçambique, China, Brasil, Mianmar e Etiópia, correspondendo a 97% do cultivo mundial. A mamona possui grande potencial para uso em diferentes condições ecológicas. Na maior parte das vezes o seu cultivo tem como objetivo a produção de óleo (Ergun, 2022).

A nutrição e a adubação da mamoneira exercem grande importância no processo produtivo. Dessa forma, se por um lado há grande necessidade de fertilizantes, por outro, os custos financeiros com adubação são elevados, fazendo-se necessário otimizar cada vez mais o uso desses insumos, com a finalidade de se obter maior rendimento com o menor custo possível. Com os aumentos de produtividades esperados, é possível pagar o financiamento do investimento tecnológico com a cultura e aumentar a renda líquida do produtor. A adubação mineral com 120 kg ha^{-1} de fósforo incrementa a produtividade de sementes em 62,5% (Sofiatti et al., 2010). A adubação mineral com 150 kg ha^{-1} de K_2O aumentou significativamente o peso de sementes por planta na mamoneira BRS Nordestina (Mesquita et al., 2011).

Estudando a influência do K sobre a mamoneira linhagem UFRB 222, Cavalcante et al. (2020) constataram que a aplicação desse nutriente aumentou a área foliar, o número de sementes e a produção de óleo, e a melhor dose foi de 300 kg ha^{-1}. Hussien et al. (2012) verificaram que a adubação foliar com K aumentou as concentrações foliares de K, Ca, Mg, Zn, Fe e Mn, além de aumentar as massas secas do caule, das folhas e da planta inteira; a altura das plantas; o número de folhas e a produtividade.

7.5. SISAL

A *Agave sisalana* Perrine, popularmente conhecida como sisal, é uma planta herbácea monocotiledônea pertencente ao gênero Agave. Esse gênero é originário da América Central e do Norte e, atualmente, possui ocorrência em países tropicais e subtropicais

como Brasil, Tanzânia, Quênia, Madagascar, China e México. A fibra de suas folhas é usada para produzir tapetes, cordas e fios, enquanto outras partes da planta abastecem a produção de celulose, ração animal e até fibra de vidro. O sisal possui alta capacidade de suportar condições ambientais secas devido à sua propriedade de conservar água em suas folhas. Por isso, a agavecultura ocupa uma extensa área na região semiárida do Nordeste. O Brasil lidera a produção e exportação mundial de sisal, e cerca de 80% da produção brasileira é direcionada ao mercado externo. O plantio está concentrado no Estado da Bahia, responsável por 94,2% da área cultivada no país (Leite et al., 2023). Os agaves são plantas perenes que têm um seu ciclo produtivo entre 08 e 12 anos, sendo xerófitas; sua anatomia e metabolismo estão adaptados para utilizar eficientemente a água e, portanto, estão capacitadas para viver em condições áridas e semiáridas (Queiroga, 2021). Para produzir uma tonelada de fibra, o agave necessita retirar do solo 70 kg ha^{-1} de K_2O (Miranda, 2011).

8. MELHORAMENTO GENÉTICO PARA AUMENTAR O USO EFICIENTE DE POTÁSSIO

É muito importante o desenvolvimento de plantas mais eficientes em termos de nutrição mineral para o desenvolvimento de uma agricultura de baixo insumo, a minimização dos gastos com fertilizantes e a sustentabilidade. Genótipos com eficiência nutricional em K podem ter mecanismos fisiológicos ou características específicas para adquirir quantidades suficientes desse nutriente (eficiência de absorção) e/ou para utilizar mais efetivamente as quantidades de K absorvidas (eficiência de utilização). Numa perspectiva futura, usar genótipos eficientes em K em combinação com fertilização otimizada do solo é a estratégia perfeita para o desenvolvimento de sistemas agrícolas estáveis e sustentáveis (Zörb et al., 2014). Existem oito áreas nas quais os melhoristas podem intervir: morfologia da raiz, formação de pelos radiculares, exsudatos radiculares, capacidade de liberar K dos *"pools"* não trocáveis, cinética de absorção de K, translocação de K, substituição de K e colheita. As cinco primeiras características estão relacionadas à eficiência de absorção de K, enquanto as três últimas determinam a eficiência de utilização do nutriente (Rengel e Damon, 2008). O efeito do K sobre o crescimento celular é o fator que justifica o melhoramento genético vegetal buscar o aumento da absorção desse nutriente. O K é a força motriz para aumentar o volume celular porque controla as relações hídricas da planta. Por exemplo, o melhoramento para aumentar a atividade dos canais de K contribui para o aumento do turgor da célula, levando ao alongamento celular durante o crescimento dos pelos radiculares, o que melhora a performance das culturas sob estresse hídrico ou salinidade do solo (Taiz e Zeiger, 2016).

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que o K é um macronutriente que exerce importantes funções nas plantas, como ativação enzimática, síntese de proteínas, fotossíntese, osmorregulação, transporte no floema, transferência de energia e balanço cátion-ânion, é importante que instituições de pesquisa agropecuária deem ênfase às investigações científicas relacionadas a esse nutriente nos sistemas agrícolas. Há uma ampla variedade de temas a serem desenvolvidos para aumentar a eficiência nutricional das fontes de K. Nesse contexto, temas como melhores métodos de aplicação para as mais diversas culturas, interação do K com outros nutrientes no solo, bioinsumos como fontes de K, nutrição fosfatada e resistência de plantas a fitopatógenos, utilização do melhoramento convencional e da biotecnologia para o desenvolvimento de materiais que tenham maior eficiência

nutricional para esse elemento e manejo de K em sistemas de produção de base ecológica e/ou familiar são pertinentes na atualidade para as sustentabilidades ambiental, social e econômica.

REFERÊNCIAS

[1] ALMEIDA, H. J.; PANCELLI, M. A.; PRADO, R. M.; CAVALCANTE, V. S.; CRUZ, F. J. R. Effect of potassium on nutritional status and productivity of peanuts in succession with sugar cane. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition,** v. 15, n. 1, p. 1-10, 2015.

[2] ANJOS, P. M. dos; LIMA, V. L. A. de; AZEVEDO, C. A. V. de; SILVA, A. A. R. da; LIMA, G. S. de; ZONTA, J. H.; SANTOS, L. F. S.; SILVA, J. V. B. da; JOAQUIM, A. A. Morfofisiologia de cultivares de gergelim submetidos a adubação potássica orgânica e mineral. **Revista Caderno Pedagógico,** v. 21, n. 9, p. 1-21, 2024.

[3] ARRIEL, N. H. C.; FIRMINO, P. de T.; BELTRÃO, N. E. de M.; SOARES, J. J.; ARAÚJO, A. A. de; SILVA, A. C.; FERREIRA, G. B. **A Cultura do Gergelim.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 72 p. (Embrapa Informação Tecnológica. Coleção Plantar, 50).

[4] ASKEGAARD, M.; ERIKSEN, J.; JOHNSTON, A. E. **Sustainable Management of Potassium.** In: SCHJORRING, P.; ELMHOLT, S.; CHRISTENSEN, B. T. (Ed.'s). Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture. Wallingford: CABI Publishing, 2004. p. 85-102.

[5] BARBAGELATA, P. A.; MALLARINO, A. P. Field correlation of potassium soil test methods based on dried and field-moist soil samples for corn and soybean. **Nutrient Management & Soil & Plant Analysis,** v. 77, p. 318-327, 2012.

[6] BORGES, A. L.; ACCIOLY, A. M. de A. **Amostragem de Solo para Recomendação de Calagem e Adubação.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2020. 4 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Folder).

[7] BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. da C. S.; FERREIRA, A. C. de B.; BOGIANI, J. C. **Diagnose Visual de Deficiências Nutricionais do Algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2013. 11 p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 134).

[8] CAVALCANTE, A. R.; LIMA, W. B. de; CHAVES, L. H. G.; FERNANDES, J. D.; SOUZA, F. G. de; SILVA, S. A. Mineral fertilization with macronutrients in castor bean, lineage UFRB 222. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 24, n. 2, p. 106-114, 2020.

[9] CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIEMNTO. **Acompanhamento da Safra de Grãos.** Brasília: Nono Levantamento, 2022 (Safra 2021/2022).

[10] CORDEIRO, C. F. dos S.; PILON, C.; ECHER, F. R.; ALBAS, R.; TUBBS, R. S.; HARRIS, G. H.; ROSOLEM, C. A. Adjusting peanut plant density and potassium fertilization fordifferent production environments. **Agronomy Journal,** v. 115, p. 817-832, 2023.

[11] DUARTE, G. R. B. **Potássio nas Plantas: Tudo que Você Precisa Saber para Fazer Melhor Uso Dele.** Porto Alegre: Aegro, 2024. Disponível em: https://blog.aegro.com.br/potassio-nas-plantas/. Acesso em: 09 de dezembro de 2024.

[12] EL GAYED, A.; BASHANDY, S. O. Effect of reduced irrigation and potassium fertilization on quantity and quality of Giza 95 cotton plants. **Egyptian Journal of Agronomy,** v. 40, p. 71-84, 2018.

[13] ERGUN, Z. The effects of plant growth substances on the oil content and fatty acid composition of Ricinus communis L.: an in vitro study. **Molecular Biology Reports,** v. 49, n. 6, p. 5241-5249, 2022.

[14] FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.

[15] HUSSIEN, M. M.; REZK, A. I.; MEHANNA, H. M.; EL-NASHARTY, A. Response of castor bean plants to potassium foliar application and treated sewage water. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences,** v. 6, n. 7, p. 611-616, 2012.

[16] JANNI, M.; MAESTRI, E.; GULLI, M.; MARMIROLLI, M.; MARMIROLI, N. Plant responses to climate change, how global warming may impact on food security: a critical review. **Frontiers in Plant Science,** v.

14, e 1297569, 2024.

[17] KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. dos S. Depleção de formas de potássio no solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 31, p. 1003-1010, 2007.

[18] LEITE, A. C. N.; GOMES, J. P.; SILVA, F. L. H. da; SILVA JUNIOR, J. M. da. Prospecção tecnológica e mapeamento do sisal e seus subprodutos (1889-2022). **Cadernos de Prospecção,** v. 16, n. 5, p. 1700-1714, 2023.

[19] LIMA FILHO, O. F. de. **Desordens Nutricionais em Plantas**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2020. 26 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 257).

[20] LIMA FILHO, O. F. de. **Guia de Diagnose Visual de Deficiências Nutricionais em Sorgo-Sacarino**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. 14 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular Técnica, 31).

[21] MENEGHETTI, H. H. A.; LAZARINI, E.; BOSSOLANI, J. W.; PARRA, L. F.; HAYASHI, F. K. Doses de fósforo e potássio em plantas de amendoim na presença e ausência de adubação foliar. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering,** v. 11, n. 2, p. 125-134, 2017.

[22] MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of Plant Nutrition.** 5ª Ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.

[23] MESQUITA, E. F. de; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. Fitomassa e componentes da produção da mamona fertilizada com nitrogênio, fósforo e potássio. **Revista Agrarian,** v. 4, n. 14, p. 344-351, 2011.

[24] MIRANDA, G. P. M. Agave sisalana, o ouro verde do sertão: o mundo do trabalho e os espaços de resistência narrados pela memória dos velhos sisaleiros do semi-árido paraibano. In: Simpósio Nacional de História, 26, São Paulo, 2011. **Anais...** São Paulo: ANPUH, 2011. Disponível em: https://www.snh2011.anpuh.org/resources/anais/14/1308129272_ARQUIVO_ARTIGOSNH2011TEXTOREVISTO.pdf. Acesso em: 12 de fevereiro de 2025.

[25] ÖBORN, I.; ANDRIST-RANGEL, Y.; ASKEKAARD, M.; GRANT, C. A.; WATSON, C. A.; EDWARDS, A. C. Critical aspects of potassium management in agricultural systems. **Soil Use and Management,** v. 21, n. 1, p. 102-112, 2005.

[26] OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEN, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 28, n. 3, p. 439-445, 2004.

[27] ØRGAAD, A. F.; KROGSTAD, T. Ability of different soil extraction methods to predict potassium release from soil in ley over three consecutive years. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science,** v. 168, n. 2, p. 186-192, 2005.

[28] PONTES, S. F.; MATOS, R. R. S. S.; CORDEIRO, K. V.; SOUSA, M. O.; CARDOSO, J. P. S.; OLIVEIRA, P. S. T.; SILVA, T. F.; SANTOS, J. F.; SILVA, I. A. Utilização de substratos alternativos e substâncias húmicas para produção de mudas de gergelim. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais,** v. 12, n. 2, p. 35-45, 2021.

[29] PORTELA, E.; MONTEIRO, F.; FONSECA, M.; ABREU, M. M. Effect of soil mineralogy on potassium fixation in soils developed on different parent material. **Geoderma,** v. 343, p. 226-234, 2019.

[30] QUEIROGA, V. de P. **Sisal (*Agave sisalana,* Perrine): Tecnologias de Plantio e Utilização.** 1 ed. / QUEIROGA, V. de P.; MEDEIROS, J. da C.; SILVA, O. R. R. F. da; FRANCO, C. F. de O. (Ed.'s). Campina Grande: AREPB, 2021. 217 p.

[31] RAGHAVENDRA, M.; SINGH, Y. V.; MEENA, M. C.; DAS, T. K.; GAIND, S.; VERMA, R. K. Crop residue and potassium management strategies to improve water use and soil microbial activities under zero till maize (Zea mays)-wheat (Triticum aestivum) cropping system. **The Indian Journal of Agricultural Sciences,** v. 90, n. 12, p. 2335-2340, 2021.

[32] REETZ, H. F. **Fertilizantes e o seu uso Eficiente.** São Paulo: ANDA, 2017. 178 p.

[33] RENGEL, Z.; CAKMAK, I.; WHITE, P. J. **Marschner's Mineral Nutrition of Plants.** 4 Ed. Cambridge: Academic Press, 2023. 817 p.

[34] RENGEL, Z.; DAMON, P. M. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use.

Physiologia Plantarum, v. 133, p. 624-636, 2008

[35] RÖMHELD, V.; KIRKBY, E. A. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. **Plant and Soil,** v. 335, n. 1, p. 155-180, 2010.

[36] ROSOLEM, C. A.; WITACKER, J. P. T. Adubação foliar com nitrato de potássio em algodoeiro. **Bragantia,** v. 66, n. 1, p. 147-155, 2007

[37] ROSOLEN, C. A.; SILVA, R. H. da; ESTEVES, J. A. de F. Potassium supply to cotton roots as affected by potassium fertilization and liming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 38, n. 5, p. 635-641, 2003.

[38] SARHAN, M. G. R.; EL GAYED, A. A supplementary potassium foliar spray enhanced cotton tolerance to water déficit. **Egyptian Journal of Agronomy,** v. 100, N. 4, p. 616-625, 2022.

[39] SCHNEIDER, A.; TESILEANU, R.; CHARLES, R.; SINAJ, S. Kinetics of soil potassium sorption-desorption and fixation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** v. 44, p. 837-849, 2013.

[40] SHAO, Y.; HE, Y. Nitrogen, phosphorus, and potassium prediction in soils, using infrared spectroscopy. **Soil Research,** v. 49, n. 2, p. 166-172, 2010.

[41] SHARMA, R.; SINDHU, S. S.; GLICK, B. R. Potassium solubilizing microorganisms as potential biofertilizer: A sustainable climate-resilient approach to improve soil fertility and crop production in agriculture. **Journal of Plant Growth Regulation,** v. 43, p. 2503-2535, 2024.

[42] SHIN, R. Strategies for improving potassium use efficiency in plants. **Molecules and Cells,** v. 37, n. 8, p. 575-584, 2014.

[43] SILVA, M. A. da. **Brasil Ultrapassa EUA e já é Maior Exportador de Algodão do Mundo.** Brasília: Agência Brasil, 2024. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-07/brasil-ultrapassa-eua-e-ja-e-maior-exportador-de-algodao-do-mundo#:~:text=ouvir%3A,mundo%2C%20superando%20os%20Estados%20Unidos. Acesso em: 29 de janeiro de 2025.

[44] SOFIATTI, V.; GONDIM, T. M. de S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; VASCONCELOS, R. de A.; SILVA, F. M. de O.; SILVA, V. N. B.; SILVA, D. M. A. Adubação da mamoneira cultivar BRS Nordestina em condições de sequeiro. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 4; Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 1, João Pessoa, 2010. **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 410-417

[45] SOUZA, G. de P.; FERRAREZI JUNIOR, E. Produção de amendoim no estado de São Paulo e sua viabilidade. **Interface Tecnológica,** v. 19, n. 2, p. 620-629, 2022.

[46] STEINER, F.; LANA, M. do C.; ZOZ, T.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R. Extraction methods and potassium availability for soybean in the Paraná state's soils, Brazil. **Revista de Agricultura Neotropical,** v. 1, n. 2, p. 83-92, 2015.

[47] TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** 6a. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 888 p.il.

[48] XU, X.; DU, X.; WANG, F.; SHA, J.; CHEN, Q.; TIAN, G.; ZHU, Z.; GE, S.; JIANG, Y. Effects of potassium levels on plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings. **Frontiers in Plant Science,** v. 11, 904, 2020.

[49] ZEBEC, V.; RASTIJA, D.; LONČARIĆ, Z.; BENSA, A.; POPOVIC, B.; IVEZIĆ, V. Comparison of chemical extraction methods for determination of soil potassium in different soil types. **Eurasian Soil Science,** v. 50, n. 12, p. 1420-1427, 2017.

[50] ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture – Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology,** v. 171, p. 656-669, 2014.

[51] ZOZ, T.; FIORESE, D. A.; PIVETTA, L. A.; ZOZ, A.; ZOZ, J.; ZUFFO, A. M. Phosphorus and potassium fertilization in creeping peanut. **Revista Scientia Agraria,** v. 19, n. 1, p. 153-159, 2018.

Capítulo 3

Aplicação de modelos mistos (REML/BLUP) na seleção de genótipos de arroz irrigado em Campos dos Goytacazes, RJ

Josefa Grasiela Silva Santana
Moisés Ambrósio
Ana Kesia Faria Vidal
Maxwel Rodrigues Nascimento
Josilene Vargas Xavier
Gabriel Bousse Picanço
Ana Luiza da Silva Pereira Vaz
Anny Caroline Miranda Kunkel
Bruna de Melo Viana
Thais Gomes de Souza
Rogério Figueiredo Daher
Silvino Amorim Neto
Rafael Souza Freitas
Cleudiane Lopes Leite
Cleverton França Vaz
Kethily Kauane Vieira Maciel
Anderson Cordeiro de Oliveira Peris
Thaís Rufino Linhares
Marcelo dos Santos Ferreira
Bruno dos Santos Barbosa

Resumo: O arroz é essencial para a segurança alimentar, mas sua produtividade é afetada por variações ambientais. O uso de modelos mistos (REML/BLUP) no melhoramento genético permite estimativas acuradas de parâmetros genéticos, auxiliando na seleção de genótipos superiores. Este estudo objetivou avaliar genótipos de arroz irrigado via REML/BLUP para identificar materiais promissores quanto a caracteres agronômicos. O ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) avaliou 20 genótipos (15 linhagens e 5 cultivares) em Campos dos Goytacazes, RJ, na safra 2022/2023. Adotou-se delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Avaliaram-se: produtividade de grãos (PROD), altura de planta (ALT), dias para florescimento (BFO) e grau de acamamento (ACA). Foram obtidas as estimativas de componentes de variância e predição de valores genotípicos. Observou-se variabilidade genética significativa para todos os caracteres. BFO e ALT apresentaram alta variância genotípica e elevadas herdabilidades no sentido amplo (0,99 e 0,89), indicando forte controle genético e viabilidade de seleção direta. PROD e ACA tiveram herdabilidades moderada (0,68) e baixa (0,33), refletindo maior influência ambiental. A acurácia seletiva foi alta (0,82 a 1,00). O ordenamento via BLUP destacou as linhagens AB 201204, AB 201206 e AB 201200 pela superioridade em produtividade, superando cultivares comerciais. As cultivares BRS Catiana e BRS Pampeira mostraram desempenho equilibrado em múltiplos caracteres. Conclui-se que há variabilidade genética explorável na população, recomendando-se a seleção das linhagens de destaque aliada à manutenção das cultivares estáveis para maximizar os ganhos genéticos no programa de melhoramento.

1. INTRODUÇÃO

O mundo tem enfrentado crescentes pressões sobre os recursos naturais, e as mudanças climáticas têm agravado significativamente o cenário agrícola, cuja produtividade é diretamente influenciada por fatores como temperatura, precipitação e ocorrência de eventos extremos (Yuan et al., 2024) .

O arroz (*Oryza sativa* L.) é cultivado em uma ampla diversidade de ecossistemas, desde regiões tropicais úmidas até zonas temperadas, sendo altamente sensível às variações ambientais (dos Santos et al., 2017; Wassmann et al., 2009). Essa plasticidade ecológica, embora favoreça sua ampla distribuição, também implica que o desempenho produtivo da cultura esteja fortemente condicionado à interação genótipo × ambiente (G×A). Dessa forma, o melhoramento genético do arroz em regiões tropicais torna-se essencial para a obtenção de genótipos superiores, capazes de aliar alta produtividade, estabilidade e adaptação às condições adversas.

O arroz é o alimento básico mais consumido no mundo e desempenha papel fundamental na segurança alimentar de mais de 3 bilhões de pessoas, sendo responsável por parcela significativa da ingestão calórica global (Datta & Datta, 2020).

No entanto, o crescimento da produção tem sido insuficiente para acompanhar a demanda crescente, impulsionada pelo aumento populacional e pelas mudanças nos padrões de consumo (Yang et al., 2024). Diante desse cenário, os programas de melhoramento genético têm se concentrado no desenvolvimento de cultivares mais produtivas, resilientes e eficientes no uso de recursos (De Oliveira et al., 2020; Khanna et al., 2024).

Além disso, a complexidade dos caracteres envolvidos na produtividade do arroz, geralmente de natureza quantitativa e controlados por múltiplos genes, demanda o uso de abordagens modernas que permitam maior precisão na seleção. Caracteres como florescimento, altura de planta, resistência ao acamamento e produtividade de grãos são determinantes para o desempenho agronômico, pois influenciam diretamente a adaptação, a estabilidade produtiva e a eficiência do sistema de cultivo. Estudos recentes destacam que a compreensão da base genética desses caracteres é fundamental para o avanço do melhoramento e para o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas às condições ambientais adversas (Hernández-Soto et al., 2021).

Nesse contexto, metodologias estatísticas baseadas em modelos mistos, como REML/BLUP (*Restricted Maximum Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction*), têm sido amplamente utilizadas em programas de melhoramento vegetal, por permitirem estimativas mais acuradas dos componentes de variância e dos valores genéticos. Essas abordagens possibilitam a separação eficiente dos efeitos genéticos e ambientais, aumentando a precisão da seleção e os ganhos genéticos ao longo dos ciclos de melhoramento. Trabalhos recentes demonstram que o uso de REML/BLUP contribui significativamente para a identificação de genótipos superiores e para a maximização do progresso genético em culturas agrícolas (Sousa et al., 2025). No caso do arroz, essa metodologia tem sido fundamental na avaliação de ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), permitindo maior confiabilidade na recomendação de novas cultivares (DoVale et al., 2012).

Outro aspecto fundamental para o sucesso do melhoramento genético é a existência de variabilidade genética. A manutenção e exploração dessa variabilidade são essenciais para garantir ganhos contínuos, especialmente em um cenário de mudanças climáticas e necessidade de sustentabilidade agrícola. Estudos indicam que a preservação da diversidade genética aliada ao uso de ferramentas modernas de seleção é crucial para assegurar avanços consistentes na produtividade e na adaptação das culturas ao longo do tempo (da Silva et al., 2025).

Diante desse contexto, a integração entre variabilidade genética, avaliação fenotípica e metodologias estatísticas avançadas constitui a base para o desenvolvimento de cultivares superiores. Assim, estudos que utilizam modelos mistos para estimativa de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos tornam-se essenciais para subsidiar a seleção eficiente de genótipos promissores. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo avaliar genótipos de arroz irrigado por meio da abordagem REML/BLUP, visando identificar materiais superiores quanto a caracteres agronômicos de interesse, contribuindo para o avanço do melhoramento genético e para a sustentabilidade da produção de arroz em condições tropicais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO, POPULAÇÃO AVALIADA E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

No ano de 2022, foi conduzido um experimento de Valor de Cultivo e Uso (VCU) com 20 genótipos de arroz irrigado, cultivados em condições de várzea. Dentre esses materiais, 15 consistiram em linhagens avançadas desenvolvidas pela Embrapa Arroz e Feijão, enquanto cinco corresponderam a cultivares comerciais utilizadas como testemunhas (Tabela 1).

O experimento foi instalado na época das águas, com semeadura realizada em 22 de novembro de 2022, no Centro Estadual de Pesquisa em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos (CEPAAR), pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO-RIO), localizado no município de Campos dos Goytacazes, RJ.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, totalizando 80 parcelas experimentais. Cada parcela foi composta por oito linhas de 6,0 metros de comprimento, espaçadas em 0,30 m entre si. A área útil para avaliação correspondeu às seis linhas centrais de cada parcela, desconsiderando-se 0,5 m nas extremidades de cada linha, resultando em uma área útil de 4,08 m^2 por unidade experimental.

Tabela 1. Cultivares comerciais e linhagens experimentais de arroz irrigado avaliadas no ensaio de VCU. Campos dos Goytacazes-RJ, 2022-2023

Nº	Genótipo	Tipo
1	**BRS CATIANA**	Cultivar comercial
2	**BRS PAMPEIRA**	
3	**BRS A 706 CL**	
4	**BRS A704**	
5	**BRS A705**	
6	**AB 181045**	Linhagem experimental
7	**AB 191163**	
8	**AB 191215**	
9	**AB 201108**	
10	**AB 201109**	
11	**AB 201114**	
12	**AB 201115**	
13	**AB 201129**	
14	**AB 201170**	
15	**AB 201198**	
16	**AB 201200**	
17	**AB 201204**	
18	**AB 201206**	
19	**SC 908**	
20	**SC 971**	

2.2. CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

Foram avaliadas as seguintes características agronômicas:

- Produtividade de grãos (PROD, t ha^{-1}): obtida a partir da colheita dos grãos na área útil da parcela. Os grãos foram pesados e os valores corrigidos para o teor de umidade padrão de 14%, correspondente ao padrão comercial, sendo posteriormente convertidos para toneladas por hectare.
- Altura de planta (ALT, cm): medida do nível do solo até a extremidade superior da panícula, em plantas selecionadas aleatoriamente na área útil da parcela, realizada próximo à maturidade fisiológica.
- Número de dias para o florescimento (BFO): contabilizado desde a emergência até o momento em que 50% das plantas de cada parcela apresentaram flores abertas, caracterizando o florescimento pleno.
- Grau de acamamento (ACA): avaliado visualmente utilizando uma escala de 1 a 3, na qual 1 indica ausência de acamamento, 2 indica acamamento moderado e 3 indica acamamento severo.

2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos foram obtidas pela metodologia de modelos mistos REML (*Restriction Maximum Likelihood*)/BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*). Foi utilizado o modelo estatístico y = Xr + Zg + e, em que y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. As análises estatísticas foram geradas pelo modelo 20

do software SELEGEN – REML/BLUP. A significância do efeito aleatório (genótipos) foi obtida através da Análise de Deviance (ANADEV), pelo método REML, que substitui com vantagens a análise de variância (ANOVA) em casos de dados desbalanceados, pelo teste da razão da máxima verossimilhança (LRT) (Resende, 2007).

As deviances foram obtidas utilizando-se o modelo com e sem os respectivos efeitos, subtraindo a deviance obtida no modelo completo do modelo sem o efeito e comparada com o valor do Qui-quadrado (χ^2) com um grau de liberdade. O fator bloco, assumido como efeito fixo, foi avaliado pelo teste F (Tabela 2).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que o valor crítico do teste Qui-quadrado para 1% de probabilidade na análise de deviance, todos os valores observados foram superiores, indicando a existência de significativa variabilidade genética entre os genótipos avaliados (Tabela 2). A significância do efeito de genótipo para florescimento, altura de planta, acamamento e produtividade indica que os materiais avaliados apresentam variabilidade genética suficiente para seleção, condição primordial para finalidade dos programas de melhoramento genético da cultura.

Tabela 2. Estimativas de deviance para as características número de dias para o florescimento, altura de planta, grau de acamamento e produção de grãos em genótipos de arroz irrigado avaliados em ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Campos dos Goytacazes-RJ, 2022/2023

	BFO		ALT		ACA		PROD	
Efeito	**Deviance**	**LRT**	**Deviance**	**LRT**	**Deviance**	**LRT**	**Deviance**	**LRT**
Genótipo	413,12	74,33**	410,56	98,75**	-87,01	-9,97**	32,47	25,79**
Modelo completo	-338,79		311,81		-96,95		-10,79	

LRT: Teste da razão de verossimilhança; ns,**, *: *Não significativo, Significativo ao nível de 1% (6,63) e 5% (3,84) de probabilidade, respectivamente, pelo teste Qui-quadrado com 1 grau de liberdade*.

O florescimento é um dos principais caracteres fenológicos associados à adaptação regional do arroz, pois determina a sincronização da fase reprodutiva com condições ambientais favoráveis, influenciando diretamente o rendimento de grãos (Molla, 2022). Nesse contexto, o número de dias para o florescimento (BFO) constitui um caráter de grande importância para o arroz irrigado, uma vez que sua variação reflete diferenças no ciclo de desenvolvimento entre genótipos. Essa variabilidade permite a seleção de cultivares adaptadas a distintas janelas de cultivo e condições ambientais, sendo amplamente reconhecida na literatura e destacada pelo International Rice Research Institute (IRRI), que enfatiza o papel do ajuste do ciclo fenológico na maximização da produtividade. Além disso, estudos sobre o controle genético e a regulação do florescimento em arroz demonstram que há ampla variabilidade associada à sensibilidade ao fotoperíodo, fator determinante para a adaptação e desempenho produtivo em diferentes ambientes (Song et al., 2024).

Estudos conduzidos em múltiplos ambientes demonstram ampla variação no florescimento entre genótipos, com significativa contribuição da interação genótipos ×

ambientes para a expressão do caráter (Guo et al., 2020). Estudos conduzidos no Brasil com dados provenientes de ensaios de valor de cultivo e uso demonstram ampla variação no tempo de florescimento entre genótipos de arroz avaliados em múltiplos ambientes, confirmando a importância desse caráter na diferenciação genotípica e na seleção de cultivares adaptadas (Heinemann et al., 2024; Honório Filho et al., 2021). Dessa forma, a variabilidade detectada para florescimento no presente estudo reforça o potencial de exploração desse caráter como critério auxiliar na seleção de genótipos superiores, especialmente quando associado a outros atributos agronômicos, como produtividade e estabilidade, em programas de melhoramento genético de arroz.

A altura de planta apresentou o maior valor de LRT (98,75), evidenciando elevada diferença entre os genótipos avaliados. Esse resultado reforça a importância desse caráter na diferenciação genética, uma vez que a altura de planta está diretamente associada ao risco de acamamento, um dos principais entraves à produtividade do arroz irrigado. Estudos demonstram que o acamamento reduz o rendimento e a qualidade dos grãos, além de dificultar a colheita mecanizada(Berry & Spink, 2014). Nesse contexto, a altura de planta é considerada um dos principais atributos morfológicos relacionados à resistência ao acamamento, sendo positivamente correlacionada com sua ocorrência em condições de cultivo intensivo.

O melhoramento genético do arroz tem historicamente priorizado a redução da altura das plantas, sobretudo após a introdução de cultivares de menor porte durante a Revolução Verde, o que contribuiu significativamente para o aumento da produtividade e da estabilidade das lavouras (Zhang et al., 2017). Plantas de menor porte apresentam centro de gravidade reduzido e maior resistência mecânica, diminuindo a suscetibilidade ao acamamento (Niu et al., 2021). Dessa forma, cultivares modernas tendem a apresentar porte médio ou baixo, característica desejável em sistemas irrigados.

Além disso, a existência de variabilidade genética significativa para altura de planta, como observado neste estudo, é amplamente relatada na literatura e constitui um fator essencial para programas de melhoramento, permitindo a seleção de genótipos mais adaptados e produtivos (Zeng et al., 2019) . Resultados semelhantes têm sido amplamente reportados em estudos com arroz, nos quais diferenças significativas entre genótipos para caracteres morfológicos, incluindo altura de planta, são frequentemente observadas. Em experimentos conduzidos com diferentes materiais genéticos, a altura de planta, o número de perfilhos e os componentes de rendimento apresentam variação altamente significativa, evidenciando a existência de ampla variabilidade genética (Kandel et al., 2021). Além disso, estudos com germoplasma de arroz indicam elevada herdabilidade e variabilidade para caracteres agronômicos, incluindo altura de planta, o que reforça seu potencial na seleção de genótipos superiores (Sen et al., 2026). Avaliações com grande número de acessos também confirmam diferenças consistentes entre genótipos para múltiplos caracteres morfológicos, destacando a importância desses atributos na discriminação genotípica e no avanço dos programas de melhoramento.

De acordo com a estimativa de deviance, a significância observada para o grau de acamamento indica a existência de variabilidade genética entre os genótipos quanto à resistência estrutural das plantas. O acamamento em arroz está diretamente associado a perdas agronômicas relevantes, uma vez que promove redução na interceptação de luz, compromete a eficiência fotossintética, dificulta a colheita mecanizada e resulta em perdas quantitativas e qualitativas de produtividade. Esse fenômeno pode ocorrer tanto por falhas no sistema radicular quanto pela quebra ou flexão do colmo, sendo influenciado

por fatores genéticos, ambientais e de manejo, especialmente pela adubação nitrogenada em excesso (Kashiwagi et al., 2008; Setter et al., 1997).

Nesse contexto, a variabilidade genética para acamamento torna-se fundamental para programas de melhoramento, permitindo a seleção de genótipos mais resistentes e adaptados. Conforme observado por Sangoi et al. (2022), a resistência ao acamamento em arroz está associada à menor altura de planta, maior diâmetro e espessura do colmo, além de uma arquitetura foliar mais favorável à estabilidade mecânica. Resultados semelhantes foram reportados por (Ookawa et al., 2010), demonstrando que a resistência mecânica do colmo está relacionada à composição da parede celular e à distribuição de biomassa na planta. Adicionalmente, (Kashiwagi et al., 2008) evidenciaram ampla variabilidade genética para resistência ao acamamento em arroz, reforçando o potencial de exploração desse caráter na seleção de genótipos superiores. Dessa forma, genótipos com menor propensão ao acamamento tendem a apresentar maior estabilidade produtiva e melhor desempenho agronômico em diferentes condições ambientais.

A Tabela 3 apresenta os componentes de variância e os parâmetros genéticos estimados pelo método REML/BLUP para os caracteres número de dias para o florescimento (BFO), altura de planta (ALT), grau de acamamento (ACA) e produção de grãos (PROD) em genótipos de arroz irrigado.

Tabela 3. Componentes de variância e parâmetros genéticos estimados pelo método REML/BLUP para as características número de dias para o florescimento, altura de planta, grau de acamamento e produção de grãos em genótipos de arroz irrigado avaliados em ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Campos dos Goytacazes-RJ, 2022/2023

Componentes de Variância/Parâmetros Genéticos	BFO	ALT	ACA	PROD
Variância genotípica	69,40	61,72	0,03	0,33
Variância residual	0,00	8,00	0,06	0,16
Variância fenotípica individual	60,40	69,71	0,09	0,48
Herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo	0,99	0,89	0,33	0,68
Herdabilidade da média de genótipos	1,00	0,97	0,66	0,89
Acurácia	1,00	0,98	0,82	0,95
Coeficiente de variação genotípica	8,16	7,98	17,39	20,48
Coeficiente de variação experimental	0,00	2,87	24,59	14,16
Coeficiente de variação relativa	909,69	2,78	0,71	1,45
Média Geral	102,00	98,48	1,05	2,78

Observa-se que a variância genotípica foi expressiva para os caracteres BFO (69,40) e ALT (61,72), indicando elevada contribuição da variabilidade genética para a expressão fenotípica desses caracteres. Para ACA (0,03) e PROD (0,33), embora os valores absolutos sejam menores, isso se deve à escala de mensuração, sendo necessária a análise conjunta com os demais parâmetros. A elevada variância genotípica observada para os caracteres florescimento e altura de planta evidencia ampla variabilidade genética entre os genótipos avaliados, o que é essencial para o sucesso na seleção de genótipos superiores. De acordo com Cruz et al. (2012) e Vencovsky & Barriga (1992), a magnitude da variância genética está diretamente relacionada ao potencial de ganhos com a seleção, especialmente quando estimada por metodologias baseadas em modelos mistos.

A variância residual foi nula para BFO, evidenciando excelente ajuste do modelo e alta consistência dos dados experimentais para esse caráter. Para ALT, a variância residual foi relativamente baixa (8,00), indicando boa precisão experimental. Em contrapartida, para ACA (0,06) e PROD (0,16), observa-se maior participação relativa da variância residual na composição da variância fenotípica total, sugerindo maior influência de fatores ambientais nesses caracteres.

As herdabilidades no sentido amplo em nível de parcelas individuais foram muito elevadas para BFO (0,99) e ALT (0,89), moderadas para PROD (0,68) e baixas para ACA (0,33). Quando consideradas as médias de genótipos, as herdabilidades aumentaram substancialmente, atingindo valores próximos da unidade para BFO (1,00) e ALT (0,97), elevados para PROD (0,89) e moderados para ACA (0,66), evidenciando o efeito da repetição experimental na redução da variância ambiental.

Os elevados valores de herdabilidade observados para o caráter número de dias para o florescimento indicam forte controle genético e baixa influência ambiental, favorecendo a seleção direta. Em arroz, estimativas de herdabilidade para esse caráter frequentemente superam 0,90, evidenciando que a maior parte da variação fenotípica é de natureza genética, conforme demonstrado por Huang et al. (2010).

De acordo com (Falconer & Mackay, 1996), caracteres com alta herdabilidade apresentam maior resposta à seleção, tornando o florescimento um caráter estratégico no melhoramento, especialmente por sua relação com a adaptação ambiental. Além disso, a elevada herdabilidade na média de genótipos e a alta acurácia reforçam a eficiência do uso de modelos mistos (REML/BLUP), que aumentam a precisão na predição dos valores genéticos, conforme destacado por Resende (2007).

Para a produção de grãos, a herdabilidade moderada reflete a natureza quantitativa do caráter e sua maior sensibilidade à interação genótipos × ambientes. Nesse caso, estratégias como avaliação em múltiplos ambientes são recomendadas para maximizar os ganhos genéticos, como discutido por Heffner et al. (2009).

Por outro lado, o grau de acamamento apresentou menor herdabilidade, indicando maior influência ambiental. Segundo Kashiwagi & Ishimaru (2008), esse caráter é altamente dependente de condições ambientais, sendo mais eficiente a seleção indireta via caracteres correlacionados.

Assim, caracteres como florescimento e altura de planta apresentam maior potencial para seleção direta, enquanto produção de grãos e acamamento exigem estratégias mais refinadas. Conforme Huang et al. (2010)e Vencovsky & Barriga (1992), o progresso genético é diretamente proporcional à herdabilidade, reforçando a importância desses parâmetros na tomada de decisão em programas de melhoramento na cultura do arroz.

A acurácia seletiva apresentou valores elevados para todos os caracteres, variando de 0,82 (ACA) a 1,00 (BFO), indicando alta confiabilidade na predição dos valores genéticos. A elevada acurácia seletiva observada para todos os caracteres reforça a eficiência do método REML/BLUP na predição de valores genéticos. De acordo comResende (2007), valores de acurácia superiores a 0,70 indicam alta confiabilidade na seleção, sendo desejáveis em programas de melhoramento genético.

Os coeficientes de variação genotípica (CVg) foram mais elevados para PROD (20,48%) e ACA (17,39%), indicando maior variabilidade genética relativa nesses caracteres. Por outro lado, o coeficiente de variação experimental (CVe) foi mais elevado para ACA (24,59%) e PROD (14,16%), refletindo maior influência ambiental nesses caracteres. O

coeficiente de variação relativa (CVr) foi superior a 1 para BFO, ALT e PROD, indicando predominância da variância genética sobre a ambiental, enquanto para ACA (0,71) esse valor sugere maior dificuldade de seleção direta.

Os coeficientes de variação genotípica elevados para produção de grãos e acamamento indicam maior amplitude de variabilidade genética relativa, o que favorece a seleção. No entanto, os altos valores de coeficiente de variação experimental para esses caracteres evidenciam maior influência ambiental, o que pode comprometer a precisão da seleção fenotípica direta.

O coeficiente de variação relativa superior a 1 para a maioria dos caracteres indica condições favoráveis à seleção, uma vez que a variância genética supera a ambiental. Conforme discutido(Vencovsky & Barriga, 1992), essa relação é um indicativo importante da eficiência esperada na seleção de genótipos superiores.

Tabela 4. Ordenamento dos genótipos de arroz irrigado com base nos valores genotípicos preditos (u + g) e respectivas novas médias estimadas pelo método BLUP, obtidos em ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Campos dos Goytacazes-RJ, 2022-2023

Genótipo	BFO		ALT		ACA		PROD	
	Ord.	Nova Media	Ord.	Nova Media	Ord.	Nova Media	Ord.	Nova Media
BRS CATIANA	1	110.000	5	107.023	2	13.500	4	3.5078
BRS PAMPEIRA	2	110.000	2	108.427	1	16.833	5	3.4535
BRS A 706 CL	3	110.000	3	108.024	3	12.389	13	3.0976
BRS A704	4	110.000	7	105.660	4	11.833	7	3.3404
BRS A705	18	103.333	18	100.194	5	11.500	18	2.8958
AB 181045	5	110.000	10	104.190	6	11.278	6	3.3901
AB 191163	19	102.631	9	104.660	7	11.119	15	3.0336
AB 191215	20	102.000	19	99.417	8	11.000	9	3.2477
AB 201108	12	107.917	4	107.580	9	10.907	20	2.7877
AB 201109	13	106.923	14	102.771	10	10.833	11	3.1637
AB 201114	14	106.071	11	103.804	11	10.773	14	3.0694
AB 201115	15	105.333	16	101.480	12	10.722	16	2.9894
AB 201129	16	104.688	20	98.475	13	10.679	10	3.2048
AB 201170	17	104.118	12	103.484	14	10.643	12	3.1293
AB 201198	6	110.000	6	106.248	15	10.611	8	3.2933
AB 201200	7	110.000	13	103.137	16	10.583	3	3.5321
AB 201204	8	110.000	8	105.128	17	10.559	1	3.6285
AB 201206	9	110.000	1	108.670	18	10.537	2	3.5759
SC 908	10	110.000	15	102.100	19	10.518	17	2.9441
SC 971	11	109.090	17	100.821	20	10.500	19	2.8447

A análise do ordenamento dos genótipos apresentada na Tabela 4, baseada nos valores genotípicos preditos (u + g) via BLUP, evidencia diferenças consistentes no desempenho agronômico dos materiais avaliados no ensaio de VCU. A utilização de modelos mistos com predição BLUP permite maior acurácia na estimativa dos valores genéticos, uma vez que considera simultaneamente os efeitos fixos e aleatórios, além de reduzir a influência ambiental sobre os caracteres quantitativos (Resende, 2007, 2016).

Para o caráter dias para florescimento (BFO), observa-se uma concentração de genótipos com médias estimadas semelhantes nas primeiras posições, como BRS Catiana e BRS Pampeira. Esse comportamento sugere menor variabilidade entre os genótipos superiores para esse caráter, indicando possível estabilização do ciclo dentro do programa de melhoramento. De acordo com Colombari Filho et al. (2013), caracteres fenológicos em arroz frequentemente apresentam herdabilidade moderada a alta, favorecendo a eficiência da seleção, mas podem apresentar menor amplitude de variação em populações já melhoradas.

Em relação à altura de plantas (ALT), verifica-se maior amplitude de variação entre os genótipos, com diferenças claras no ordenamento. Essa variabilidade é relevante, pois a altura está diretamente associada à suscetibilidade ao acamamento e à eficiência de colheita. Estudos indicam que a altura de plantas é um caráter quantitativo influenciado por múltiplos genes e pelo ambiente, sendo importante para o ajuste do ideótipo da cultura (Bhering et al., 2016). Dessa forma, o ordenamento observado sugere potencial para seleção de genótipos com porte adequado aliado à estabilidade produtiva.

Para o acamamento (ACA), os resultados evidenciam ampla variabilidade entre os genótipos, com cultivares como BRS Pampeira e BRS Catiana posicionando-se entre os melhores desempenhos. O acamamento é um caráter complexo, altamente influenciado por fatores genéticos e ambientais, e sua redução é essencial para garantir eficiência na colheita e minimizar perdas produtivas. Segundo Bhering et al. (2016) a seleção para resistência ao acamamento é fundamental em programas de melhoramento de arroz irrigado, especialmente em ambientes de alta fertilidade.

No caso da produtividade de grãos (PROD), observa-se maior discriminação entre os genótipos, com destaque para linhagens experimentais como AB 201204, AB 201206 e AB 201200, que superam algumas cultivares comerciais. Esse resultado reforça a existência de variabilidade genética para produtividade, um caráter de natureza complexa e fortemente influenciado pelo ambiente. A utilização do BLUP é particularmente importante nesse contexto, pois aumenta a precisão da seleção para produtividade ao considerar a estrutura de variâncias e covariâncias dos dados (Piepho et al., 2008).

De forma geral, o ordenamento evidencia que não há um único genótipo superior para todos os caracteres avaliados, o que é esperado em caracteres quantitativos correlacionados. Essa condição reforça a necessidade de utilização de estratégias de seleção simultânea, como índices de seleção, que permitem ganhos equilibrados em múltiplos caracteres (Crossa et al., 2017).

Além disso, a aplicação de modelos mistos no ordenamento dos genótipos, conforme proposto por Henderson (1975), possibilita a obtenção de predições mais acuradas dos valores genéticos, sendo amplamente recomendada em ensaios de avaliação de cultivares. Trabalhos como os de Smith et al. (2005) reforçam que essa abordagem melhora significativamente a eficiência da seleção em experimentos agrícolas, especialmente em condições de desbalanceamento e variação ambiental.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, os resultados referentes ao ordenamento demonstram que há variabilidade genética suficiente para a seleção de genótipos superiores em arroz irrigado, com destaque para linhagens experimentais promissoras em produtividade. No entanto, a seleção deve considerar o conjunto de caracteres avaliados, buscando equilíbrio entre

ciclo, porte, resistência ao acamamento e rendimento, o que reforça a importância do uso de modelos mistos e abordagens multivariadas no melhoramento genético moderno. Nesse contexto, recomenda-se a seleção de genótipos como **AB 201204, AB 201206** e **AB 201200**, que se destacaram para produtividade de grãos, aliada à manutenção de cultivares como **BRS Catiana** e **BRS Pampeira**, que apresentaram desempenho equilibrado em múltiplos caracteres, especialmente florescimento e resistência ao acamamento. Essa estratégia permite combinar alto potencial produtivo com estabilidade agronômica, maximizando os ganhos genéticos no processo de seleção.

REFERÊNCIAS

[1] Berry, P. M., & Spink, J. (2014). Lodging resistance in cereals: genetic and environmental factors. *Field Crops Research*, *154*, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.06.012

[2] Bhering, L. L., Cruz, C. D., Peixoto, L. A., Rosado, A. M., & Laviola, B. G. (2016). Adaptability and stability of irrigated rice genotypes evaluated in Brazil. *Genetics and Molecular Research*, *15*(2), 1–12. https://doi.org/10.4238/gmr.15028069

[3] Colombari Filho, J. M., Breseghello, F., Morais, O. F. de, Castro, E. da S., & Guimarães, E. de O. (2013). Parâmetros genéticos e seleção de genótipos de arroz irrigado no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *48*(8), 951–958. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800008

[4] Crossa, J., Pérez-Rodríguez, P., Cuevas, J., Montesinos-López, O. A., Jarquín, D., de Los Campos, G., Burgueño, J., González-Camacho, J. M., Pérez-Elizalde, S., Beyene, Y., & others. (2017). Genomic selection in plant breeding: methods, models, and perspectives. *Trends in Plant Science*, *22*(11), 961–975. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.08.011

[5] Cruz, C. D., Regazzi, A. J., & Carneiro, P. C. S. (2012). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético* (4th ed.). UFV.

[6] da Silva, A. V., Famoso, A., Linscombe, S., & Fritsche-Neto, R. (2025). 110 years of rice breeding at LSU: realized genetic gains and future optimization. *Theoretical and Applied Genetics 2025 138:7*, *138*(7), 142-. https://doi.org/10.1007/s00122-025-04913-z

[7] Datta, S. K., & Datta, K. (2020). Golden Rice. In C. and E. V. V. de Oliveira Antonio and Pegoraro (Ed.), *The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity* (pp. 135–147). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37510-2_6

[8] De Oliveira, A. C., Pegoraro, C., & Viana, V. E. (2020). The future of rice demand: Quality beyond productivity. *The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity*, 1–544. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37510-2

[9] dos Santos, M. P., Zanon, A., Cuadra, S. V., Steinmetz, S., de Castro, J. R., & Heinemann, A. B. (2017). Yield and morphophysiological indices of irrigated rice genotypes in contrasting ecosystems[1]. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, *47*(3), 253–264. https://doi.org/10.1590/1983-40632016V4745955

[10] DoVale, J. C., Soares, P. C., Cornélio, V. M. O., Reis, M. S., Borges, V., Bisi, R. B., Soares, A. A., & Fritsche-Neto, R. (2012). Contribuição genética na produtividade do arroz irrigado em Minas Gerais no período de 1998 a 2010. *Bragantia*, *71*(4), 460–466. https://doi.org/10.1590/S0006-87052012000400002

[11] Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to Quantitative Genetics* (4th ed.). Longman.

[12] Guo, T., Mu, Q., Wang, J., Vanous, A. E., Onogi, A., Iwata, H., Li, X., & Yu, J. (2020). Dynamic effects of interacting genes underlying rice flowering-time phenotypic plasticity and global adaptation. *Genome Research*, *30*(5), 673–683. https://doi.org/10.1101/gr.255703.119

[13] Heffner, E. L., Sorrells, M. E., & Jannink, J.-L. (2009). Genomic selection for crop improvement. *Crop Science*, *49*(1), 1–12. https://doi.org/10.2135/cropsci2008.08.0512

[14] Heinemann, A. B., Honorio Filho, G. R., Justino, L. F., Matta, D. H. da, & Stone, L. F. (2024, June). Predição do florescimento do arroz (Oryza sativa L.) irrigado nas macrorregiões brasileiras. *Embrapa Arroz e Feijão*. www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

[15] Henderson, C. R. (1975). Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. *Biometrics*, *31*(2), 423–447.

[16] Hernández-Soto, A., Echeverría-Beirute, F., Abdelnour-Esquivel, A., Valdez-Melara, M., Boch, J., & Gatica-Arias, A. (2021). Rice breeding in the new era: Comparison of useful agronomic traits. *Current Plant Biology*, *27*(7052), 100211. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2021.100211

[17] Honório Filho, R. G., Matta, D. H. da, & Heinemann, A. B. (2021). Predição do Florescimento do Arroz (Oryza Sativa L.) Irrigado por meio de Variáveis Geográficas e Climáticas. *SEMINÁRIO JOVENS TALENTOS*.

[18] Huang, X., Wei, X., Sang, T., Zhao, Q., Feng, Q., Zhao, Y., Li, C., Zhu, C., Lu, T., Zhang, Z., & others. (2010). Genome-wide association studies of 14 agronomic traits in rice landraces. *Nature Genetics*, *42*(11), 961–967. https://doi.org/10.1038/ng.695

[19] International Rice Research Institute (IRRI). (n.d.). *Growth and development*. Retrieved http://www.knowledgebank.irri.org

[20] Kandel, M., Ghimire, S., Ojha, B., & Poudel, A. (2021). Evaluation of growth and yield traits in rice genotypes using multivariate analysis. *Heliyon*, *7*(9), e07940. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07940

[21] Kashiwagi, T., & Ishimaru, K. (2008). Identification and functional analysis of a locus for improvement of lodging resistance in rice. *Plant Physiology*, *147*(4), 1988–1997. https://doi.org/10.1104/pp.108.119081

[22] Kashiwagi, T., Togawa, E., Hirotsu, N., & Ishimaru, K. (2008). Identification of quantitative trait loci for lodging resistance in rice (Oryza sativa L.). *Field Crops Research*, *109*(2–3), 201–210. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.08.007

[23] Khanna, A., Anumalla, M., Ramos, J., Sta. Cruz, M. T., Catolos, M., Sajise, A. G., Gregorio, G., Dixit, S., Ali, J., Islam, M. R., Singh, V. K., Rahman, M. A., Khatun, H., Pisano, D. J., Bhosale, S., & Hussain, W. (2024). Genetic gains in IRRI's rice salinity breeding and elite panel development as a future breeding resource. *Theoretical and Applied Genetics*, *137*, 37. https://doi.org/10.1007/s00122-024-04545-9

[24] Molla, K. A. (2022). Flowering time and photoperiod sensitivity in rice. *The Plant Cell*. https://doi.org/10.1093/plcell/koac230

[25] Niu, Y., Chen, T., Zhao, C., & Zhou, M. (2021). Improving crop lodging resistance by adjusting plant height and stem strength. In *Agronomy* (Vol. 11, Number 12). MDPI. https://doi.org/10.3390/agronomy11122421

[26] Ookawa, T., Hobo, T., Yano, M., Murata, K., Ando, T., Miura, H., Asano, K., Ochiai, Y., Ikeda, M., Nishitani, R., & others. (2010). New approach for rice improvement using a pleiotropic QTL gene for lodging resistance and yield. *Nature Communications*, *1*, 132. https://doi.org/10.1038/ncomms1132

[27] Piepho, H.-P., Möhring, J., Melchinger, A. E., & Büchse, A. (2008). A stage-wise approach for the analysis of multi-environment trials. *Biometrical Journal*, *50*(5), 806–820. https://doi.org/10.1002/bimj.200710426

[28] Resende, M. D. V. de. (2007). *Estatística biométrica e genômica: modelos mistos, REML/BLUP e inferência em melhoramento de plantas*. Embrapa Informação Tecnológica.

[29] Resende, M. D. V. de. (2016). *Selegen-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos*.

[30] Resende, S. de O. e S. (2007). *Estatística matemática, biometria e melhoramento: modelos mistos (REML/BLUP)*. Embrapa Informação Tecnológica.

[31] Sangoi, L., Silva, P. R. F., Mota, M. R., Panison, F., Schmitt, A., Souza, N. A., & Schenatto, D. E. (2022). Lodging resistance in cereal crops: morphological, physiological and management factors. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, *21*(1), e1210. https://doi.org/10.18512/rbms2022v21e1210

[32] Sen, A., Yasmin, F., Sarkar, M. J., Rahman, M. O., Singh, A. S. H., & Rahman, M. A. (2026). Genetic and morphological traits diversity in germplasm of Aman rice (Oryza sativa L.). *Discover Plants*, *3*(1), 43. https://doi.org/10.1007/s44372-026-00503-5

[33] Setter, T. L., Laureles, E. V, & Mazaredo, A. M. (1997). Lodging reduces yield of rice by self-shading

and reductions in canopy photosynthesis. *Field Crops Research*, *49*(2–3), 95–106. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(96)01055-1

[34] Smith, A. B., Cullis, B. R., & Thompson, R. (2005). The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: an overview of current mixed model approaches. *The Journal of Agricultural Science*, *143*(6), 449–462. https://doi.org/10.1017/S0021859605005587

[35] Song, J., Tang, L., Cui, Y., Fan, H., Zhen, X., & Wang, J. (2024). Research Progress on Photoperiod Gene Regulation of Heading Date in Rice. *Current Issues in Molecular Biology 2024, Vol. 46, Pages 10299-10311*, *46*(9), 10299–10311. https://doi.org/10.3390/cimb46090613

[36] Sousa, A. M. de C. B. de, Resende, M. P. M., Crispim-Filho, A. J., Miranda, G. V., & Reis, E. F. dos. (2025). Genetic Gains and Field Validation of Synthetic Populations in Tropical Maize Using Selection Indexes and REML/BLUP. *Plants 2025, Vol. 14, Page 3149*, *14*(20), 3149. https://doi.org/10.3390/plants14203149

[37] Vencovsky, R., & Barriga, P. (1992). *Genética biométrica no fitomelhoramento*. Sociedade Brasileira de Genética.

[38] Wassmann, R., Jagadish, S. V. K., Sumfleth, K., Pathak, H., Howell, G., Ismail, A., Serraj, R., Redona, E., Singh, R. K., & Heuer, S. (2009). Chapter 3 Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation. *Advances in Agronomy*, *102*, 91–133. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01003-7

[39] Yang, X., Yu, S., Yan, S., Wang, H., Fang, W., Chen, Y., Ma, X., & Han, L. (2024). Progress in Rice Breeding Based on Genomic Research. *Genes 2024, Vol. 15, Page 564*, *15*(5), 564. https://doi.org/10.3390/genes15050564

[40] Yuan, X., Li, S., Chen, J., Yu, H., Yang, T., Wang, C., Huang, S., Chen, H., & Ao, X. (2024). Impacts of Global Climate Change on Agricultural Production: A Comprehensive Review. In *Agronomy* (Vol. 14, Number 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/agronomy14071360

[41] Zeng, Y., Chen, Y., Ji, Z., Liang, Y., Zheng, A., Wen, Z., & Yang, C. (2019). Control of plant height by 24 alleles at 12 quantitative trait loci in rice. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, *19*(2), 200–207. https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n2a28

[42] Zhang, W., Wu, L., Wu, X., Ding, Y., Li, G., Li, J., Weng, F., Liu, Z., Tang, S., & Ding, C. (2017). Engineering the lodging resistance mechanism of post-Green Revolution rice to meet future demands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(44), E11150–E11159. https://doi.org/10.1073/pnas.1712102114

Capítulo 4

Seleção de genótipos de arroz irrigado em Campos dos Goytacazes via análise de modelos mistos (REML/BLUP)

Moisés Ambrósio
Josefa Grasiela Silva Santana
Ana Kesia Faria Vidal
Maxwel Rodrigues Nascimento
Josilene Vargas Xavier
Gabriel Bousse Picanço
Ana Luiza da Silva Pereira Vaz
Anny Caroline Miranda Kunkel
Bruna de Melo Viana
Thais Gomes de Souza
Rogério Figueiredo Daher
Silvino Amorim Neto
Rafael Souza Freitas
Cleudiane Lopes Leite
Cleverton França Vaz
Kethily Kauane Vieira Maciel
Anderson Cordeiro de Oliveira Peris
Thaís Rufino Linhares
Marcelo dos Santos Ferreira
Bruno dos Santos Barbosa

Resumo: arroz irrigado destaca-se como um dos principais sistemas de produção de arroz no mundo e no Brasil, sendo responsável por elevados níveis de produtividade e estabilidade de rendimento. Nesse contexto, os programas de melhoramento genético voltados a essa cultura desempenham papel essencial no desenvolvimento de cultivares mais produtivas, adaptadas e resistentes a estresses bióticos e abióticos. Desta forma, os modelos mistos se destacam como uma ferramenta importante, pois possibilitam uma estimativa mais precisa desses parâmetros, facilitando a identificação dos melhores genótipos. Dessa forma, objetivou-se estimar os componentes de variância e predizer os valores genotípicos com a finalidade de selecionar genótipos de arroz por meio de modelos mistos (REML/BLUP). O experimento foi conduzido no Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, localizado no município de Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Foram avaliados vinte genótipos de arroz, dos quais 4 são cultivares comerciais e 16 correspondem a linhagens experimentais em fase de avaliação. As características analisadas incluíram produção de grãos, número de dias para o florescimento, altura de planta e grau de acamamento. Para essas variáveis, foram realizadas análises de deviance, estimativas dos componentes de variância e predições dos valores genéticos por meio de modelos mistos (REML/BLUP), utilizando o software Selegen. Os resultados indicam que há condições favoráveis para a seleção de genótipos superiores, principalmente para florescimento, altura de planta e produtividade, que apresentaram maior controle genético e acurácia. Por outro lado, o grau de acamamento demonstrou baixa variabilidade genética, limitando a seleção direta para essa característica. De modo geral, genótipos como 1, 2, 13 e 20 destacam-se pelo desempenho conjunto, sendo promissores para recomendação, desde que avaliados em diferentes ambientes para confirmação da estabilidade produtiva.

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais importantes do mundo, sendo base alimentar para mais da metade da população global. No Brasil, a cultura possui elevada relevância econômica e social, especialmente no sistema irrigado, que apresenta altos níveis de produtividade e estabilidade. De acordo com Embrapa (2023), o arroz irrigado responde por grande parte da produção nacional e desempenha papel fundamental na segurança alimentar. Além disso, o desempenho da cultura está diretamente relacionado à interação entre genótipo, ambiente e manejo, influenciando o rendimento e a adaptação das cultivares (Fageria et al., 2014).

As características agronômicas do arroz, como dias para o florescimento, altura de planta, grau de acamamento e produtividade de grãos, são fundamentais na avaliação de genótipos e no direcionamento da seleção. Segundo Cruz et al. (2021), esses caracteres são quantitativos e controlados por múltiplos genes, além de sofrerem forte influência ambiental. Nesse contexto, a estimativa de parâmetros genéticos, como herdabilidade e variância genética, é essencial para predizer o sucesso da seleção. Estudos também reforçam que a produtividade de grãos é altamente complexa e dependente de interações genótipo × ambiente (Bernardo, 2010).

A obtenção de cultivares superiores é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético de arroz, visando maior produtividade, estabilidade e adaptação a diferentes condições de cultivo. De acordo com Khush (2018), os avanços no melhoramento genético têm contribuído significativamente para o aumento da produção mundial de arroz, especialmente com o desenvolvimento de cultivares mais eficientes e resistentes. Além disso, a avaliação em ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) continua sendo uma etapa essencial para recomendação de novas cultivares, permitindo identificar genótipos com desempenho agronômico superior e ampla adaptabilidade (Fukagawa; Ziska, 2019).

Nesse contexto, o uso de metodologias estatísticas modernas, como os modelos mistos baseados em REML/BLUP, tem se tornado cada vez mais importante no melhoramento vegetal. Conforme destacado por Resende (2016), esses métodos permitem estimar com maior precisão os componentes de variância e predizer valores genéticos, aumentando a acurácia da seleção (PIEPHO et al., 2020). Assim, o uso dessas abordagens representa uma ferramenta essencial para maximizar os ganhos genéticos e otimizar a recomendação de cultivares de arroz irrigado.

Estudos recentes têm demonstrado a ampla utilização de modelos mistos (REML/BLUP) no melhoramento do arroz, especialmente na avaliação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos em ensaios multiambientes. Trabalhos como o de Streck et al. (2019) evidenciaram a eficiência dessa metodologia na identificação de genótipos superiores e na predição de valores genéticos com maior acurácia. Além disso, aplicações conduzidas por Resende et al. (2016) destacam que os modelos mistos permitem maior precisão na estimação de componentes de variância e na seleção de genótipos promissores. De forma complementar, este estudo reforça que essa abordagem é fundamental para análise da interação genótipo × ambiente e para a condução de programas de melhoramento mais eficientes.

Dessa forma, objetivou-se estimar os componentes de variância e predizer os valores genotípicos com a finalidade de selecionar genótipos de arroz por meio de modelos mistos (REML/BLUP).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. AREA DE ESTUDO, POPULAÇÃO AVALIADA E DELINEAMENTO

No ano de 2022 foi instalado experimento de valor de cultivo e uso (VCU) com 20 genótipos de arroz, por meio do cultivo de arroz irrigado, sendo destes, 16 linhagens desenvolvidas pela Embrapa Arroz e Feijão e 04 cultivares designadas testemunhas (BRS Pampeira; BRS A706CL; BRS A704 e BRS A705).

O ensaio foi instalado na época das águas, com semeadura realizada no dia 22 de novembro de 2022, no Centro Estadual de Pesquisa em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos (CEPAAR) da Empresa de Pesquisa Agropecuária do estado do Rio de Janeiro (PESAGRO-RIO), situada no município de Campos dos Goytacazes.

O delineamento estatístico utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, totalizando 80 parcelas. Cada parcela experimental foi constituída de oito linhas de 5,0 metros de comprimento, espaçadas em 0,17 metro entre si. A área útil avaliada correspondeu a seis linhas centrais de cada unidade experimental, desprezando-se 0,5 m acima e abaixo de cada linha, formando-se área útil de 3,04 m^2.

Tabela 1. Cultivares comerciais e linhagens experimentais de arroz irrigado avaliadas no ensaio de VCU. (Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2026)

Nº	Genótipo	Tipo
1	**BRS PAMPEIRA**	Cultivar comercial
2	**BRS A706CL**	
3	**BRS A704**	
4	**BRS A705**	
5	**AB201108**	Linhagem experimental
6	**AB201109**	
7	**AB201114**	
8	**AB201129**	
9	**AB201170**	
10	**AB211003**	
11	**AB211007**	
11	**AB211020**	
13	**AB211043**	
14	**AB211049**	
15	**AB211062**	
16	**AB211096**	
17	**AB231295**	
18	**AB231296**	
19	**AB231297**	
20	**SC 1119**	

2.2. CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

Foram avaliadas as seguintes características agronômicas:

Produtividade de grãos (t/ha): obtida a partir da colheita dos grãos na área útil da parcela. Os grãos foram pesados, com posterior correção para 14% de umidade, padrão de comercialização. O valor foi então convertido para t/há.

Altura de planta (cm): medida do nível do solo até a extremidade superior da panícula, em plantas selecionadas aleatoriamente na área útil da parcela, próximo ao ponto de maturação fisiológica.

Número de dias para o florescimento: contados desde a emergência até o momento em que 50% das plantas de cada parcela apresentaram flores abertas, caracterizando o florescimento pleno.

Grau de acamamento: O grau de acamamento foi avaliado visualmente, utilizando uma escala de 1 a 3, em que 1 indica ausência de acamamento, 2 indica acamamento moderado e 3 indica acamamento severo.

2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos foram obtidas pela metodologia de modelos mistos REML (Restriction Maximum Likelihood)/BLUP (Best Linear Unbiased Prediction).

De acordo com modelo descrito em Viana e Resende (2014), a análise de deviance foi obtida da seguinte forma:

$$D = -2\ln(L)$$

$$\ln(L) = -1/2\ln|X'V-1X| - 1/2\ln|V| - 1/2(y-Xm)`V-1(y-Xm),$$

Onde ln (L) é o ponto máximo da função de logaritmo de máxima verossimilhança restrita (REML); y é o vetor da variável analisada; m é o vetor dos efeitos das observações, assumido fixo, X é a matriz de incidência dos efeitos fixos; e V é a matriz de variância-covariância de y,

O teste estatístico LRT (teste de razão de verossimilhança) foi utilizado para testar o significado dos efeitos, da seguinte forma:

$$LRT: |-2\ln(L_{se}) + 2\ln(L_{fm}),$$

Onde Lse é o ponto máximo da função de máxima verossimilhança para o modelo reduzido (sem os efeitos) e Lfm é o ponto máximo da função de máxima verossimilhança para o modelo complet.,

Foi utilizado o modelo estatístico y = Xr + Zg + e, em que y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. As análises estatísticas foram geradas pelo modelo 20 do software SELEGEN – REML/BLUP (Resende, 2009). Os seguintes componentes de variâncias e parâmetros foram estimados: variância genotípica; variância residual; variância fenotípica individual; herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo; herdabilidade da média de genótipos; acurácia e média geral

Por meio do REML/BLUP os indivíduos foram ranqueados de acordo com os valores genotípicos encontrados para cada característica. A partir destes valores foi aplicada a seleção individual dos melhores indivíduos para cada característica.

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

A análise de deviance apresentada na Tabela 2 evidencia o efeito do fator genótipo sobre as características dias para o florescimento (DPF), altura de planta (ALT), grau de acamamento (ACA) e produção de grãos (PROD) em genótipos de arroz irrigado avaliados em ensaio de Valor de Cultivo e Uso. Observa-se que o efeito de genótipo foi altamente significativo para DPF, ALT e PROD, conforme indicado pelos elevados valores do teste da razão de verossimilhança (LRT), os quais superaram amplamente o valor crítico de 6,63. Esses resultados demonstram a existência de variabilidade genética expressiva entre os genótipos para essas características, o que é fundamental para o sucesso de programas de melhoramento, uma vez que possibilita a seleção de materiais mais precoces ou tardios, com alturas de planta adequadas e maior potencial produtivo. No contexto do melhoramento de plantas, Ramalho et al. (2012) destacam que a presença de variabilidade genética é condição essencial para obtenção de ganhos por seleção, especialmente em caracteres quantitativos como produtividade e altura de planta.

Para a característica altura de planta, o elevado valor de LRT (142,32) indica forte diferenciação entre os genótipos, sugerindo ampla variabilidade genética e potencial para seleção de plantas com arquitetura mais favorável, especialmente visando à redução do acamamento. Segundo Yoshida (1981), a altura de planta está diretamente relacionada à eficiência no uso de assimilados e à resistência ao acamamento, sendo um dos principais critérios na seleção de cultivares modernas de arroz. Além disso, Embrapa (2013) ressalta que plantas de porte médio apresentam melhor equilíbrio entre produtividade e resistência estrutural.

De forma semelhante, a produção de grãos também apresentou efeito significativo do genótipo (LRT = 9,63), evidenciando diferenças entre os materiais quanto ao desempenho produtivo, o que reforça a importância da avaliação em ensaios de VCU para recomendação de cultivares. Esse resultado está em consonância com estudos de Cruz et al. (2014), que destacam que a produtividade é um caráter complexo, altamente influenciado pela interação de múltiplos genes e pelo ambiente, sendo a identificação de genótipos superiores dependente da avaliação em diferentes condições experimentais, como nos ensaios de VCU.

Por outro lado, o grau de acamamento apresentou valor de LRT muito baixo (0,01), sendo não significativo. Apesar da indicação de significância estatística, a magnitude reduzida do efeito sugere que a influência do genótipo sobre essa característica é limitada, indicando que o acamamento pode estar mais associado a fatores ambientais ou à interação genótipo × ambiente. Esse resultado aponta para a necessidade de avaliações adicionais em diferentes condições ambientais para melhor compreensão desse caráter. Segundo Falconer e Mackay (1996), caracteres com baixa variância genética e maior influência ambiental tendem a apresentar menor herdabilidade, dificultando a seleção direta. Nesse sentido, o acamamento pode estar mais associado a fatores ambientais ou à interação genótipo × ambiente, como condições de vento, manejo da adubação e densidade de plantas.

De modo geral, os menores valores de deviance observados no modelo completo, em comparação ao efeito isolado de genótipo, indicam bom ajuste do modelo aos dados experimentais. Assim, conclui-se que há variabilidade genética relevante entre os genótipos de arroz irrigado para a maioria das características avaliadas, especialmente para florescimento, altura de planta e produtividade, o que favorece a seleção de genotipos superiores. Entretanto, para o grau de acamamento, a baixa expressão do efeito

genotípico sugere maior influência de fatores não genéticos, devendo ser interpretado com cautela em programas de melhoramento.

Tabela 2. Estimativas de deviance para as características produção de grãos, número de dias para o florescimento, altura de planta e grau de acamamento em genótipos de arroz irrigado avaliados em ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) (Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2026)

	DPF		ALT		ACA		PROD	
Efeito	**Deviance**	**LRT (χ^2)**	**Deviance**	**LRT (χ^2)**	**Deviance**	**LRT (χ^2)**	**Deviance**	**LRT (χ^2)**
Genótipo	394.41	80,66**	409.46	142,32**	-91.12	$0,01^{ns}$	1087.17	9,63**
Modelo completo	313.75		267.14		-91.13		1077.54	

LRT: Teste da razão de verossimilhança; ns,**, *: Não significativo, Significativo ao nível de 1% (6,63) e 5% (3,84) de probabilidade, respectivamente, pelo teste Qui-quadrado com 1 grau de liberdade.

A Tabela 3 apresenta os componentes de variância e os parâmetros genéticos estimados pelo método REML/BLUP para as características dias para o florescimento (DPF), altura de planta (ALT), grau de acamamento (ACA) e produção de grãos (PROD) em genótipos de arroz irrigado avaliados em ensaio de Valor de Cultivo e Uso. De modo geral, observa-se que as magnitudes das variâncias genotípicas e residuais diferem entre as características, refletindo distintos níveis de controle genético e influência ambiental.

Para dias para o florescimento (DPF), a variância genotípica (47,37) foi superior à variância residual (9,00), resultando em elevada variância fenotípica (56,37). Esse comportamento se reflete nos altos valores de herdabilidade no sentido amplo, tanto em nível de parcelas individuais (0,84) quanto na média de genótipos (0,95), além da alta acurácia (0,97). Esses resultados indicam que a expressão dessa característica é fortemente controlada por fatores genéticos, com baixa interferência ambiental, o que favorece a seleção eficiente de genótipos com ciclos desejáveis. De acordo com Resende (2007), caracteres com alta herdabilidade e elevada acurácia apresentam maior correlação entre valores genotípicos preditos e valores reais, aumentando a eficiência da seleção. Estudo s com arroz irrigado também relatam alta herdabilidade para florescimento, destacando sua estabilidade e importância na adaptação a diferentes ambientes (Fageria et al., 2014).

Para altura de planta (ALT), observa-se tendência semelhante, com variância genotípica elevada (65,10) em comparação à variância residual (3,61), resultando em herdabilidades muito altas (0,94 para parcelas individuais e 0,98 para médias de genótipos) e acurácia praticamente máxima (0,99). Esses valores evidenciam forte controle genético da característica, indicando grande confiabilidade na seleção e alto potencial de ganho genético para esse caráter. Segundo Cruz et al. (2014), caracteres com alta herdabilidade tendem a responder rapidamente à seleção, possibilitando ganhos genéticos expressivos em poucas gerações. Em arroz, a altura de planta é frequentemente associada à arquitetura ideal e à resistência ao acamamento, sendo amplamente explorada em programas de melhoramento (Yoshida, 1981; Singh et al., 2017).

Em contraste, o grau de acamamento (ACA) apresentou variância genotípica nula (0,00) e variância residual de 0,09, o que resultou em herdabilidade praticamente inexistente (0,00 para parcelas individuais e 0,03 para médias de genótipos) e baixa acurácia (0,19).

Esses resultados indicam ausência de variabilidade genética detectável para essa característica nas condições avaliadas, sugerindo que o acamamento é predominantemente influenciado por fatores ambientais ou por interação genótipo × ambiente. Dessa forma, a seleção direta para esse caráter tende a ser ineficiente nesse conjunto de dados. Conforme discutido por Falconer e Mackay (1996), características com baixa herdabilidade são fortemente influenciadas pelo ambiente, dificultando a seleção direta. Estudos em arroz corroboram que o acamamento é altamente dependente de fatores ambientais, como vento, manejo de nitrogênio e densidade de plantio, além da interação genótipo × ambiente (Kashiwagi et al., 2008).

Para produção de grãos (PROD), a variância genotípica (1,680) foi inferior à variância residual (3,445), indicando maior influência ambiental sobre a expressão dessa característica. Consequentemente, a herdabilidade em nível de parcelas individuais foi moderada (0,32), aumentando para 0,66 quando considerada a média de genótipos, e a acurácia foi de 0,81. Esses resultados sugerem que, embora exista variabilidade genética para produtividade, a seleção deve ser realizada com base em médias de genótipos e, preferencialmente, em múltiplos ambientes, a fim de aumentar a precisão e os ganhos genéticos. Segundo Bernardo (2010), a produtividade é um caráter quantitativo complexo, altamente influenciado por efeitos ambientais, sendo recomendada a avaliação em diferentes locais e anos para maior precisão na seleção. Resultados semelhantes são relatados por estudos em arroz irrigado, nos quais a herdabilidade para produtividade geralmente varia de baixa a moderada, dependendo das condições experimentais (Venkatesan et al., 2019).

De maneira geral, os resultados evidenciam que as características DPF e ALT apresentam alto controle genético, elevada herdabilidade e alta acurácia, sendo altamente favoráveis à seleção em programas de melhoramento. Por outro lado, a produção de grãos apresenta herdabilidade moderada, exigindo estratégias de seleção mais cuidadosas, enquanto o grau de acamamento demonstra baixa variabilidade genética nas condições estudadas, indicando limitação para seleção direta. Assim, os parâmetros estimados reforçam a importância da avaliação criteriosa das características e do uso de metodologias como REML/BLUP para maximizar a eficiência da seleção de genótipos superiores. Nesse contexto, o uso de metodologias como REML/BLUP, conforme destacado por Resende (2007), é fundamental para aumentar a precisão das estimativas e maximizar a eficiência da seleção de genótipos superiores.

Tabela 3. Componentes de variância e parâmetros genéticos estimados pelo método REML/BLUP para as características produção de grãos, número de dias para o florescimento, altura de planta e grau de acamamento em genótipos de arroz irrigado avaliados em ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU). (Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2026)

CV	DPF	ALT	ACA	PROD
Variância genotípica	47.37	65.10	0.00	1.680
Variância residual	9.00	3.61	0.09	3.445
Variância fenotípica individual	56.37	68.71	0.09	5.126
Herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo	0.84	0.94	0.00	0.32
Herdabilidade da média de genótipos	0.95	0.98	0.03	0.66
Acurácia	0.97	0.99	0.19	0.81
Média Geral	88.26	98.63	1.05	4.158

A Tabela 4 apresenta o ordenamento dos genótipos de arroz irrigado com base nos valores genotípicos preditos (u + g) e nas novas médias estimadas pelo método BLUP para as características dias para o florescimento (DPF), altura de planta (ALT), grau de acamamento (ACA) e produção de grãos (PROD). Esse procedimento permite classificar os genótipos de forma mais precisa, considerando os efeitos genéticos livres da maior parte da influência ambiental. De acordo com Resende (2007), o uso do BLUP proporciona maior acurácia na predição dos valores genéticos, sendo amplamente recomendado em programas de melhoramento por reduzir vieses ambientais e aumentar a eficiência da seleção.

Para dias para o florescimento (DPF), o genótipo 8 ocupa a primeira posição, com média estimada de 107,58 dias, caracterizando-se como o mais tardio entre os avaliados. Em seguida, aparecem os genótipos 1 e 2, enquanto os genótipos 18, 19 e 6 apresentam menores médias, sendo mais precoces. Essa variação evidencia a possibilidade de selecionar materiais com diferentes ciclos, o que é importante para adequação a distintos sistemas de cultivo e épocas de semeadura. Segundo Yoshida (1981), o ciclo de florescimento é um dos principais determinantes da adaptação do arroz a diferentes ambientes, influenciando diretamente a produtividade e a eficiência no uso dos recursos ambientais. Além disso, estudos indicam que a diversificação de ciclos permite melhor escalonamento de plantio e colheita, reduzindo riscos climáticos (Fageria et al., 2014).

Em relação à altura de planta (ALT), o genótipo 20 apresenta a maior média (114,77), ocupando a primeira posição no ordenamento, seguido pelos genótipos 13 e 10. Por outro lado, os genótipos 9, 7 e 17 apresentam menores alturas. Do ponto de vista agronômico, genótipos com menor estatura tendem a ser preferíveis por apresentarem menor risco de acamamento, embora essa característica deva ser analisada em conjunto com produtividade. Conforme discutido por Khush (1999), a redução da altura de planta foi um dos principais avanços no melhoramento do arroz, contribuindo para o aumento da produtividade ao reduzir perdas por acamamento e melhorar a resposta à adubação nitrogenada.

Para o grau de acamamento (ACA), observa-se novamente baixa variação entre os genótipos, com médias muito próximas (1,05 a 1,06). O genótipo 13 ocupa a primeira posição, porém as diferenças entre os demais são praticamente desprezíveis. Esse comportamento reforça a baixa variabilidade genética previamente observada para essa característica, indicando limitação na discriminação dos genótipos quanto à resistência ao acamamento. De acordo com Falconer e Mackay (1996), caracteres com baixa variabilidade genética apresentam reduzido potencial de resposta à seleção. Em arroz, o acamamento é frequentemente influenciado por fatores ambientais e pelo manejo, como adubação e densidade de plantas, além da interação genótipo × ambiente (Kashiwagi et al., 2008).

Para produção de grãos (PROD), característica de maior relevância econômica, o genótipo 20 apresenta o melhor desempenho, com média estimada de 4958, seguido pelos genótipos 1 e 2. Outros genótipos como 13, 19 e 5 também apresentam desempenho satisfatório, enquanto o genótipo 14 aparece entre os de menor produtividade. Esses resultados demonstram variabilidade produtiva entre os genótipos, possibilitando a identificação de materiais superiores para recomendação. Segundo Bernardo (2010), a seleção para produtividade deve considerar médias ajustadas e dados de múltiplos ambientes, devido à forte influência ambiental sobre esse caráter. Nesse contexto, o uso do BLUP é especialmente importante, pois permite maior precisão na identificação de genótipos superiores (Resende, 2007).

De forma geral, o ordenamento obtido pelo método BLUP evidencia que os genótipos apresentam desempenhos distintos conforme a característica avaliada, não havendo um único material superior em todos os aspectos. No entanto, alguns genótipos, como 1, 2, 13 e 20, destacam-se por apresentarem bom desempenho em mais de uma característica, especialmente em produtividade. Assim, a seleção deve considerar o conjunto de características, priorizando genótipos que aliem bom desempenho produtivo, ciclo adequado e arquitetura favorável, maximizando o ganho genético e a adaptação às condições de cultivo. Conforme Cruz et al. (2014), a seleção simultânea de características pode ser realizada por índices de seleção, visando maximizar o ganho genético total. Assim, a escolha de genótipos superiores deve considerar o conjunto de características, priorizando materiais que aliem bom desempenho produtivo, ciclo adequado e arquitetura favorável, garantindo maior adaptação e estabilidade produtiva.

Tabela 4. Ordenamento dos genótipos de arroz irrigado com base nos valores genotípicos preditos (u + g) e respectivas novas médias estimadas pelo método BLUP, obtidos em ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU). (Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2026)

Ordem	DPF		ALT		ACA		PROD	
	Genótipo	Nova Media	Genótipo	Nova Media	Genótipo	Nova Media	Genótipo	Nova Media
1	8	107.58	20	114.77	13	1.06	20	4958
2	1	100.18	13	112.18	20	1.06	1	4872
3	2	97.71	10	110.74	1	1.06	2	4753
4	3	96.48	1	109.59	2	1.05	13	4659
5	14	95.74	2	108.80	3	1.05	19	4582
6	16	95.25	14	108.24	4	1.05	5	4529
7	20	94.89	11	107.20	5	1.05	9	4489
8	15	94.36	12	106.36	6	1.05	3	4457
9	6	93.87	17	105.54	7	1.05	10	4428
10	19	93.47	7	104.78	8	1.05	8	4401
11	18	93.04	9	104.17	9	1.05	14	4377

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, a integração dos resultados obtidos nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) permitiu identificar genótipos superiores com base na combinação de produtividade, ciclo e características agronômicas. Entre os materiais avaliados, destacam-se tanto cultivares comerciais quanto linhagens experimentais, evidenciando o potencial do programa de melhoramento em gerar novos genótipos competitivos.

Com base no ordenamento pelo método BLUP, os genótipos 20 (SC 1119), 1 (BRS Pampeira), 2 (BRS A706CL) e 3 (BRS A704) apresentaram os maiores valores para produção de grãos, configurando-se como os mais produtivos do conjunto avaliado. Dentre esses, o genótipo 20 (linhagem experimental) assume posição de destaque, indicando elevado potencial para futura recomendação como cultivar. As cultivares comerciais, por sua vez, mantiveram bom desempenho, confirmando sua estabilidade e importância como referência nos ensaios.

Além da produtividade, algumas linhagens experimentais como 13 (AB211043), 19 (AB231297) e 5 (AB201108) também apresentaram desempenho agronômico consistente, posicionando-se entre os melhores materiais para essa característica. Esses genótipos demonstram potencial promissor, podendo avançar nas etapas finais de avaliação.

Para dias para o florescimento, observou-se variabilidade entre os materiais, com genótipos mais precoces, como 18 (AB231296), 19 (AB231297) e 6 (AB201109)**,** e mais tardios, como **o** 8 (AB201129)**.** Essa diversidade é importante para atender diferentes estratégias de cultivo. Em relação à altura de planta, genótipos como 4 (BRS A705), 5 (AB201108) e 6 (AB201109) apresentaram menor estatura, característica desejável por estar associada à maior resistência ao acamamento.

De maneira geral, embora não haja um único genótipo superior em todas as características, alguns materiais se destacam pelo desempenho equilibrado. Em especial, os genótipos 2 (BRS A706CL), 3 (BRS A704), 13 (AB211043) e 20 (SC 1119) reúnem atributos favoráveis, combinando boa produtividade com características agronômicas desejáveis. Assim, esses genótipos podem ser considerados os mais promissores para recomendação ou continuidade no programa de melhoramento.

Conclui-se, portanto, que o conjunto de dados permitiu identificar linhagens experimentais com potencial para lançamento como novas cultivares, bem como confirmar o bom desempenho de cultivares comerciais já estabelecidas. Esses resultados reforçam a eficiência do processo de seleção e a importância do uso de metodologias como REML/BLUP na identificação de genótipos superiores.

REFERÊNCIAS

[1] BERNARDO, R. **Breeding for Quantitative Traits in Plants**. 2. ed. Stemma Press, 2010.

[2] CRUZ, C. D. et al. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Viçosa: UFV, 2021.

[3] CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2014.

[4] EMBRAPA. **Arroz irrigado no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2013.

[5] EMBRAPA. **Arroz irrigado: sistemas de produção**. Brasília: Embrapa, 2023.

[6] FAGERIA, N. K. et al. **Rice production and management**. Journal of Plant Nutrition, 2014.

[7] FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; LI, Y. C. **The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century**. *Journal of Plant Nutrition*, 2014.

[8] FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to Quantitative Genetics**. 4. ed. Longman, 1996.

[9] FUKAGAWA, N. K.; ZISKA, L. H. Rice: importance for global nutrition. *Journal of Nutritional Science*, 2019.

[10] KASHIWAGI, T. et al. **Identification of quantitative trait loci for lodging resistance in rice**. *Field Crops Research*, 2008.

[11] KHUSH, G. S. **Green revolution: preparing for the 21st century**. Genome, 1999.

[12] KHUSH, G. S. Modern varieties and rice improvement. *Rice*, 2018.

[13] PIEPHO, H. P. et al. Mixed models in plant breeding. *Plant Breeding*, 2020.

[14] RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012.

[15] RAO, C. R. **Linear Statistical Inference and Its Applications**. Wiley, 1973.

[16] RESENDE, M. D. V. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Florestas, 2009. 975 p.

[17] RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa, 2016

[18] RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

[19] RESENDE, M. D. V. *Software Selegen-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos*. Colombo: Embrapa Florestas, 2016.

[20] SINGH, R. K. et al. **Rice improvement strategies for yield and stress tolerance**. *Frontiers in Plant Science*, 2017.

[21] STRECK, E. A.; AGUIAR, G. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; FACCHINELLO, P. H. K.; FRANCO, D. F.; OLIVEIRA, A. C.; FONSECA, D. A. R.; FAGUNDES, P. R. R.; FRITSCHE-NETO, R. Genotypic performance, adaptability and stability in special types of irrigated rice using mixed models. ***Revista Ciência Agronômica*****,** Fortaleza, v. 50, n. 4, p. 613–620, 2019.

[22] VENKATESAN, M. et al. **Genetic variability and heritability studies in rice**. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 2019.

[23] YOSHIDA, S. **Fundamentals of Rice Crop Science**. Los Baños: IRRI, 1981.

Capítulo 5

Fontes orgânicas de nitrogênio e borra de café na produção de biocompósitos colonizados pelo cogumelo-ostra

Gabriel Pereira dos Santos
Jamile Soares Ferreira
Douglas Alexandre Santos Rodrigues
Kairon Rocha Andrade
Airon José da Silva
Marcos Cabral de Vasconcellos Barretto
Regina Helena Marino

Resumo: O nitrogênio é um elemento essencial ao metabolismo microbiano, mas pouco se discute sua influência na fabricação de biocompósitos fúngicos. O objetivo deste estudo foi avaliar fontes e níveis de nitrogênio (N) orgânico na fabricação de biocompósitos com borra de café e colonizados pelo isolado EF60 do *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex. Fr.) P. Kumm comercializado como cogumelo-ostra. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado no esquema fatorial de 3 x 4, correspondente ao cultivo do EF60 em borra de café com três fontes orgânicas de nitrogênio (extrato de levedura, farelo de milho e farelo de trigo) e quatro níveis de N (0, 1,6, 3,2 e 6,4%) e quatro repetições. O extrato de levedura com 1,6 a 6,4% de N inibiu 100% o crescimento micelial do EF60, provavelmente devido ao incremento de 40,6% a 140,5% de nitrogênio na borra de café. Os farelos de milho e de trigo favoreceram o crescimento micelial do EF60 e a formação de primórdios. A colonização da borra de café e farelos pelo EF60 aumentou o teor de nitrogênio no substrato de 4,2% até 25,6%. A adição de 6,4% de nitrogênio do farelo de milho ou de trigo resultou em biocompósitos resistentes.

Palavras-chave: Basidiomicetos, fungo comestível, resíduo agroindustrial.

1. INTRODUÇÃO

O emprego de fungos filamentosos na fabricação de biocompósitos tem emergido como uma alternativa ecológica no desenvolvimento de materiais sustentáveis por apresentar baixo custo energético, alta resistência mecânica e por serem biodegradáveis, ao contrário do poliestireno expandido comercializado como isopor® que demora para se decompor e gerado poluição ambiental (Caruajulca-Marin *et al.*, 2025; Deschamps *et al.*, 2024; Bonga *et al.*, 2024; Abdallah e Estévez, 2023; Alaneme *et al.*, 2023; Pereira *et al.,* 2023).

Uma vez que, na produção dos biocompósitos fúngicos podem ser reutilizados resíduos lignocelulósicos tais como: bagaço de cana-de-açúcar (Santana *et al.*, 2024), linho e palha de trigo (Elsacker *et al.*, 2019), pó de coco (Jesus *et al.*, 2024; Matos *et al.*, 2019; Teixeira *et al.*, 2018), folhas de bananeira e de pupunha (Deschamps *et al.*, 2024), cascas de mandioca (Huynh *et al.,* 2023) e cascas de café (Bonga *et al.*, 2024).

Em especial, a borra de café representa um resíduo com potencial para ser explorado na fabricação de biocompósitos, pois são gerados anualmente mais de 1 milhão de toneladas de resíduos no mundo e subaproveitados economicamente na produção de composto orgânico e geração de energia (Mei e Oliveira, 2017). Neste sentido, deve-se ressaltar também que pouco se discute a sua aplicação como carga ou reforço em compósitos poliméricos associados a fungos filamentosos (Alaneme *et al.*, 2023; Rocha *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2020; Haneef *et al.,* 2017; Mussatto *et al.*, 2011).

Outro aspecto importante a ser considerado é a necessidade de suplementação dos resíduos agroindustriais com fontes nitrogenadas visando o a produção de biocompósitos fúngicos, pois a depender da composição química do resíduo e da necessidade fisiológica do microrganismos pode haver a necessidade de adicionar nutrientes específicos para garantir o crescimento micelial (Urben, 2017). Neste sentido, o nitrogênio é um elemento que se destaca no metabolismo fúngico, por participar da síntese de componentes celulares fúngicos, tais como aminoácidos, proteínas, enzimas, bem como faz parte da quitina e da quitosana presentes na parede celular (YU *et al.*, 2023; Belletini *et al.*, 2019), o que pode influenciar a atividade metabólica do micélio e, portanto, na estrutura e nas propriedades mecânicas dos biocompósitos.

No cultivo dos fungos basidiomicetos *Cyclocybe aegerita, Pleurotus* spp., *Lentinula edodes* e *Lentinus critinus* tem sido usado como fontes orgânicas de nitrogênio a peptona, o extrato de levedura, os farelos de cereais e a farinha de soja (Deschamps *et al.*, 2024; Dedousi *et al.*, 2023; Colla *et al.*, 2023; Baktermur *et al.*, 2022), as quais podem influenciar no crescimento micelial, na síntese de enzimas e no tempo de colonização do substrato (Santana-Santos *et al.*, 2023; Trang *et al.,* 2023; Belletini et al, 2019; Matos *et al.,* 2019).

Na literatura, não foram encontrados, até o presente, relatos correlacionados com o emprego borra de café e fontes nitrogenadas orgânicas na produção de biocompósitos com fungos comestíveis, o que pode ser uma alternativa ecológica e sustentável de reaproveitamento do resíduo na produção de biomateriais, tal como o uso do pó de coco e farelo de trigo colonizados por fungos de podridão branca (Matos *et al.*, 2019; Teixeira *et al.*, 2018).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes fontes de nitrogênio orgânicas na produção de biocompósitos à base de borra de café colonizados pelo cogumelo-ostra *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex. Fr.) P. Kumm.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Na fabricação dos biocompósitos foi cultivado o isolado EF60 do *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex. Fr.) Kumm do cogumelo-ostra em borra de café seca suplementada com três fontes orgânicas de nitrogênio (Extrato de levedura - EL, farelo de milho - FM e farelo de trigo - FT) com quatro níveis de nitrogênio – N (0, 1,6, 3,2 e 6,4%) com quatro repetições.

O isolado fúngico EF60 de *P. ostreatus* foi doado pelo Módulo de Cogumelos pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu – São Paulo, da Universidade Estadual Paulista. O inoculante fúngico foi multiplicado em meio Batata-Dextrose-Ágar (BDA comercial; 39 $g.L^{-1}$), previamente autoclavado a 120 °C e 1 atm por 30 min. e acondicionado em placas de Petri de 90 mm de diâmetro. O cultivo foi realizado à temperatura e luminosidade ambiente por cinco dias. O meio de cultura colonizado foi utilizado como inoculante.

O extrato de levedura utilizado foi o de marca Kasvi e o farelo de milho e de trigo foram os utilizados na fabricação de ração animal, com 11%, 20% e 16% de nitrogênio, respectivamente. E a borra de café seca utilizada foi do café comercializado como Cafelor Sul de Minas.

O substrato de cultivo do cogumelo-ostra foi preparado pela mistura (borra de café + fonte de nitrogênio), por tratamento, seguido pela adição de água destilada autoclavada até 60-70%. A mistura foi acondicionada em placas de Petri de 70 mm de diâmetro e autoclavadas a 120 °C e 1 atm por 40 min. Após o resfriamento, um disco micelial de 6 mm de diâmetro do inoculante fúngico, com a parte miceliada voltada para cima, foi transferido para o centro da placa de Petri. A incubação foi à temperatura e luminosidade ambiente por até 30 dias após a completa colonização do substrato. Em seguida, as placas contendo o substrato colonizado foram submetidas ao congelamento por 72 h, seguido pela secagem em estufa com circulação forçada a 60 °C por 48 h.

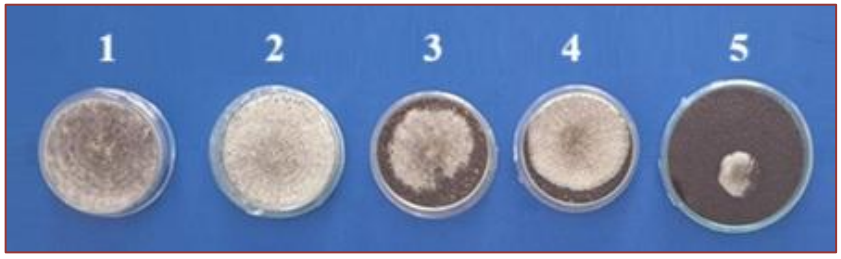
As variáveis analisadas foram: o tempo de colonização, o diâmetro micelial, a velocidade de crescimento, a porcentagem de inibição do crescimento no diâmetro e na velocidade de crescimento, a formação de primórdios, a densidade micelial, a composição química dos biocompósitos antes e depois da colonização fúngica, a cor do micélio antes e após a secagem e a resistência ao manuseio.

O tempo de colonização (TC, em dias) foi período em que o crescimento micelial atingiu a borda da placa de Petri.

O diâmetro micelial (DM, em cm) foi avaliado com auxílio de uma régua milimetrada de forma cruzada, no tempo de colonização (TC). A velocidade de crescimento (VM, em $cm.dia^{-1}$) foi determinada pela equação: VM = (Df – Di) / TC, em que Df = diâmetro micelial final, Di = diâmetro micelial inicial (= 6 mm do disco inoculante) e TC = o tempo de colonização. A porcentagem de inibição do crescimento em diâmetro (PIC-DM, em %) e na velocidade de crescimento micelial (PIC-VM, em %) foi determinada pela equação: PIC = [(Vc – Vt)/Vc)] x 100, em que Vc = valor da variável analisada no tratamento com 0% de N e Vt = valor da variável analisada por tratamento. Os valores positivos indicam inibição do crescimento e negativos demonstram que o tratamento estimulou o crescimento micelial, em comparação à testemunha (0% de N).

A densidade micelial foi determinada como: (1) pouco adensado, (2) cotonoso (“flufly”), (3) adensado, (4) rizomórfico e (5) fortemente adensado (Figura 1).

Figura 1 – Densidade micelial* do isolado EF60 de *Pleurotus ostreatus* cultivado em borra de café suplementado com fontes de nitrogênio orgânicas



*(1) Pouco adensado, (2) Cotonoso (“flufly”), (3) Adensado, (4) Rizomórfico e (5) fortemente adensado

Fonte: os autores (2026).

A formação de primórdios (PRI) foi avaliada durante o período de cultivo, por tratamento, como ausência ou presença.

Na composição química dos biocompósitos antes e depois da colonização fúngica foram analisados quanto aos teores de nitrogênio total (N, em $g.Kg^{-1}$) segundo Silva (2009).

A cor do micélio no biocompósito antes e após a secagem foi classificada como: branco claro acinzentado, amarelado e branco.

A resistência ao manuseio (RM) dos biocompósitos foi avaliada segundo a metodologia de Nussbaumer *et al.* (2024) com modificações. Para tanto, a resistência ao manuseio foi avaliada como: frágil, quando desintegra totalmente ao manuseio, desintegra parcial ao manuseio e resistente, não desintegra ao manuseio.

Os dados foram submetidos à ANAVA e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Na análise de regressão, os dados foram submetidos aos testes F e t a 1% e 5% de probabilidade pelo software SISVAR versão 5.8.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na borra de café, sem suplementação nitrogenada (0% N), o tempo de colonização do substrato pelo EF60 foi em média 14,7 dias, valor este superior aos tratamentos com adição das fontes orgânicas de nitrogênio, exceto com 3,2% de N do farelo de milho (Tabela 1).

Tabela 1 – Tempo de colonização (TC), diâmetro micelial (DM) e velocidade de crescimento micelial (VM) do isolado EF60 de *Pleurotus ostreatus* em borra de café com 0, 1,6, 3,2 e 6,4% de nitrogênio (N) de extrato de levedura (EL), farelo de milho (FM) e farelo de trigo (FT), após 15 dias de cultivo

Variáveis	Fonte de N	% de N				Regressão, r^2
		0	1,6	3,2	6,4	
TC (dias)	EL	14,7 aA[1]	0,0 bB	0,0 cB	0,0 bB	Linear, 0,47**[2]
	FM	14,7 aAB	13,3 aB	15,0 aA	10,5 aC	Linear, 0,62**
	FT	14,7 aA	12,5 aB	12,7 bB	11,3 aB	Linear, 0,81**
	CV(%)[3]	8,2				
DM (cm)	EL	6,8 aA	0,0 bB	0,0 cB	0,0 bB	Linear, 0,47**
	FM	6,8 aA	6,5 aAB	6,9 aA	6,2 aB	Linear, 0,48*
	FT	6,8 aA	6,4 aAB	6,4 bAB	6,2 aB	Linear, 0,87*
	CV(%)	5,5				
VM ($cm.dia^{-1}$)	EL	0,43 aA	0,00 bB	0,00 bB	0,0 bB	Linear, 0,47**
	FM	0,43 aB	0,45 aB	0,42 aB	0,54 aA	Linear, 0,72**
	FT	0,43 aA	0,47 aA	0,46 aA	0,50 aA	Ns
	CV(%)	10,8				

[1] Por variável analisada: letras minúsculas (na coluna) e maiúsculas (na linha), iguais não diferem entre si pelo Teste de 5% de probabilidade; [2] (ns) não significativo, (*) significativo a 5% de probabilidade e (**) significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; [3]CV = coeficiente de variação

Fonte: os autores (2026).

Segundo Chai *et al.* (2021), a ocorrência de crescimento micelial na borra de café dos fungos pertencentes ao gênero *Pleurotus* spp. se deve ao fato destes microrganismos possuírem a capacidade de degradar a cafeína, o que pode ter ocorrido neste estudo.

Na literatura, o crescimento micelial e no tempo de colonização do substrato podem ser influenciados também pelas fontes de nitrogênio, a depender do tipo de resíduo lignocelulósico utilizado no cultivo, pela espécie fúngica, pela fonte e do nível de nitrogênio (N) (Colla *et al.*, 2023; Dedousi *et al.*, 2023; Hennicke *et al.*, 2023; Belletini *et al.*, 2019; Cheng *et al.*, 2022; Naraian *et al.*, 2009; Barros *et al.*, 2007).

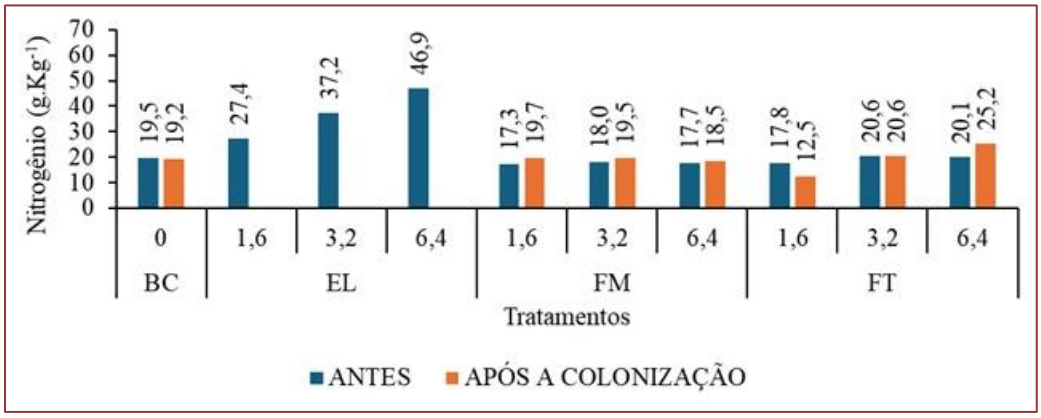
Em comparação ao uso do farelo de milho, a adição de 1,6 a 6,4% de N do farelo de trigo não influenciou no tempo de colonização (TC) e no diâmetro micelial (DM), exceto no tratamento com 3,2% de N do farelo de trigo, que apresentou precocidade na colonização do substrato. O extrato de levedura inibiu o crescimento em todos os níveis de N (Tabela 1).

O emprego de 6,4% do farelo de trigo e de milho reduziu o tempo de colonização do substrato e o diâmetro micelial do EF60 quando comparado ao tratamento com 0% de N, cujos dados foram ajustados à regressão linear (Tabela 1). Santana-Santos *et al.* (2023) também observaram o mesmo comportamento durante o cultivo do fungo de podridão branca *P. sanguineus* em pó de coco com o aumento do farelo de trigo de 5 para 40%. Da mesma forma, Silva *et al.* (2007) relataram que o aumento de 1,7 para 2,2% de ureia reduziu o crescimento micelial do cogumelo *Pleurotus sajor-caju*.

Os níveis elevados de nitrogênio podem influenciar negativamente na atividade das enzimas lacases, as quais são responsáveis pela degradação do substrato e, consequentemente, na disponibilidade de nutrientes para o metabolismo e crescimento micelial a depender da espécie fúngica (Dedousi *et al.*, 2023; Baktermur *et al.*, 2022; Belletini *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2012), o que pode justificar a ausência do crescimento

nos tratamentos com extrato de levedura devido ao alto teor de N antes da colonização do substrato (Tabela 1, Figura 2).

Figura 2 - Teor de nitrogênio (N, g.Kg^{-1}) no substrato à base de borra de café (BC), suplementada com 0, 1,6, 3,2 e 6,4% de extrato de levedura (EL), farelo de milho (FM) e de trigo (FT) antes e depois da colonização pelo isolado EF60 do *P. ostreatus*



Fonte: os autores (2026).

Outro fator importante a ser considerado é que, após a colonização fúngica pode ocorrer aumento do teor de N no substrato. Uma vez que, Jesus *et al.* (2024) verificaram que os isolados POS SP1 e POSW de *Pleurotus* spp. aumentaram de 159,7 a 138,9% o teor de N e de 23,5 a 73,5% o teor de fósforo no substrato após a completa colonização. Neste trabalho, o cultivo do EF60 em borra de café com 1,6, 3,2 e 6,4% de farelo de milho pelo EF60 promoveu incremento no teor de nitrogênio de 13,5%, 8,6% e 4,2%, respectivamente. Na suplementação com farelo de trigo da borra de café houve incremento de 25,6% apenas com 6,4% de N em comparação com o substrato antes da colonização fúngica (Figura 2).

Na variável velocidade de crescimento (VM), não houve diferença significativa entre a suplementação com farelo de milho e de trigo por nível de N testado, mas a adição de 6,4% de N do farelo de milho resultou em maior taxa de crescimento do EF60 quando comparado aos tratamentos com 0 a 3,2% de N, cujos dados foram ajustados à regressão linear. Não houve influência dos níveis de N testados do farelo de trigo na velocidade de crescimento do EF60 (Tabela 1).

Em relação à testemunha (0% N), a adição de 3,2% de N do farelo de milho foi o único tratamento que estimulou o crescimento micelial em diâmetro, os demais tratamentos reduziram de 4,5 a 100% esta variável. Na velocidade de crescimento, a adição de 1,6 e 6,4% de N do farelo de milho resultou em aumento de 5,4 e 2,72% nesta variável, respectivamente. E o emprego de 1,6 a 6,4% de N do farelo de trigo promoveu incremento de 8,4 a 17,9% na velocidade de crescimento (Tabela 2), ao contrário do que foi observado durante o *P. florida* em sabugo de milho com o aumento de 0,5 para 1,5% de farelo de soja (NARAIAN *et al.*, 2009), o que pode reduzir o tempo de obtenção destes biocompósitos comercialmente e a redução de possíveis contaminações durante o processo de cultivo do isolado fúngico.

Tabela 2 - Porcentagem de inibição do crescimento* em diâmetro micelial – PIC-DM (A) e da velocidade de crescimento – PIC-VM (B) do isolado EF60 de *Pleurotus ostreatus* cultivado borra de café suplementado com 0, 1,6, 3,2 e 6,4% de nitrogênio das fontes orgânicas de extrato de levedura (EL), farelo de milho (FM) e farelo de trigo (FT)

Variável	Fonte de nitrogênio	Nível de nitrogênio (%)		
		1,6	3,2	6,4
PIC-DM (%)	EL	100,0	100,0	100,0
	FM	4,5	-1,3	9,3
	FT	5,8	6,1	10,0
PIC-VM (%)	EL	100,0	100,0	100,0
	FM	-5,4	0,8	-27,2
	FT	-10,0	-8,4	-17,9

*Valores positivos indicam inibição do crescimento e negativos demonstram que o tratamento estimulou o crescimento micelial, em comparação à testemunha (0% de N)

Fonte: os autores (2026).

Na fabricação de biocompósitos fúngicos, a densidade micelial é um fator importante, pois a presença da quitina na parede celular promovem a elasticidade e a resistência mecânica ao biocompósito (Ongpeng *et al.*, 2020; Islam *et al.*, 2017), a depender da espécie fúngica e do substrato de cultivo (Abdallah e Estévez, 2023; Trang *et al.*, 2023; Matos *et al.*, 2019; Hannef *et al.*, 2017).

Segundo Teixeira *et al.* (2018), o aumento do período de cultivo de 15 para 45 dias dos isolados de *Pycnoporus sanguineus* e *Pleurotus* spp. em pó de coco com 40% de farelo de trigo resultou em crescimento micelial mais adensado, o que difere do comportamento do cultivo do EF60 sem as fontes nitrogenadas (0% N), cujo micélio foi pouco adensado na DENS1 e DENS2 (Tabela 3).

Tabela 3 – Densidade micelial do EF60 de *Pleurotus ostreatus* cultivado em borra de café suplementado com 0 a 6,4% de farelo de milho e de trigo, ao alcançar a borda da placa de Petri (DENS1) e após 30 dias da completa colonização (DENS2)

Fonte de nitrogênio (N)	Variável	Nível de N (%)			
		0	1,6	3,2	6,4
Extrato de levedura	DENS1	Pouco adensado	-	-	-
	DENS2		-	-	-
Farelo de milho	DENS1		Adensado	Cotonoso	Pouco adensado
	DENS2		Adensado	Cotonoso	Cotonoso
Farelo de trigo	DENS1		Cotonoso	Adensado	Adensado
	DENS2		Adensado	Adensado	Adensado

Fonte: os autores (2026).

A adição de 1,6% de N do farelo de milho favoreceu o adensamento micelial e a formação de micélio cotonoso a adensado com o farelo de trigo, quando comparado ao tratamento 0% de N nos dois períodos de avaliação (DENS1 e DENS2), quando comparado ao tratamento 0% de N (Tabela 3).

Por outro lado, o aumento do teor de N de 1,6 para 6,4% do farelo de milho reduziu a densidade micelial de adensado para pouco adensado (DENS1) e cotonoso (DENS2) do EF60 do *P. ostreatus*. Enquanto, a adição de 3,2 a 6,4% de N do farelo de trigo resultou em maior adensamento micelial do EF60 do *Pleurotus ostreatus*, quando comparado ao

tratamento com 0 e 1,6% de N na DENS1, tal como obtido por Correia *et al.* (2021) durante o cultivo do *Pycnoporus sanguineus* em pó de coco suplementado com 5 a 40% de farelo de trigo. Não houve influência do nível de N do farelo de trigo na DENS2 (Tabela 3).

Nos tratamentos com 0 a 6,4% de N do farelo de milho e de trigo ocorreu a formação de primórdios do EF60 do cogumelo-ostra, o que demonstra que o substrato pode ser utilizado para produção deste cogumelo comestível, mas inviabiliza para produção de biocompósitos, pois gera um material com superfície irregular, o que compromete a qualidade do produto.

Em relação à secagem dos biocompósitos fúngicos, visando paralisar o crescimento micelial e aumentar o tempo de conservação, este procedimento pode alterar a coloração do material e influenciar na qualidade do biomaterial (APPELS *et al.*, 2019). Nos biocompósitos colonizados pelo EF60 houve alteração da coloração de branco claro acinzentado para amarelado em todos os tratamentos colonizados pelo EF60 do *P. ostreatus* (Tabela 4), similar ao que ocorreu com os biocompósitos com POS W de *P. ostreatus* e POS SP1 de *P. ostreatoroseus* e PS de *Pycnoporus sanguineus* cultivados em pó de coco e 40% de farelo de trigo (Teixeira *et al.*, 2018).

Tabela 4 – Cor dos biocompósitos à base de borra de café suplementado com 0, 1,6, 3,2 e 6,4% de nitrogênio das fontes orgânicas de nitrogênio (EL- Extrato de levedura, FM – farelo de milho e FT – farelo de trigo) e colonizados pelo isolado EF60 de *Pleurotus ostreatus*, antes e após a secagem

Período de avaliação	Fonte de nitrogênio (N)	Nível de N (%)			
		0	1,6	3,2	6,4
Antes da secagem	EL	Branco claro acinzentado	-	-	-
	FM		Branco claro acinzentado	Branco claro acinzentado	Branco claro acinzentado
	FT				
Após a secagem	EL	Amarelado	-	-	-
	FM		Amarelado	Amarelado	Amarelado
	FT				

Fonte: os autores (2026).

Nos biocompósitos à base de borra de café, sem fontes nitrogenadas, colonizados pelo EF60 foram frágeis ao manuseio, sendo caracterizado pela desintegração total ao manuseio. A adição de 1,6 a 3,2% de N de farelo de milho e de trigo resultou em biocompósitos com maior resistência, quando comparado ao tratamento 0% de N, mas ainda com desintegração parcial do material. O emprego de 6,4% de N do farelo de milho e de trigo favoreceu a formação de biocompósitos resistentes ao manuseio. Segundo Kohphaisansombat *et al.* (2024), os biocompósitos em borra de café com fibras de abacaxi com 16% de farelo de arroz e colonizados pelo *P. ostreatus* e devido a adição das fibras. Entretanto, na borra de café apenas a adição dos farelos de milho ou de trigo com 6,4% de N foram suficientes para aumentar a resistência, sem a necessidade de adicionar fibras.

De forma geral, o substrato à base de borra de café e farelo de milho ou de trigo representam uma mistura alternativa e ecológica para produção de biocompósitos através do reaproveitamento destes resíduos sólidos e, portanto, reduzir a poluição ambiental e gerar renda.

4. CONCLUSÕES

Os resultados do estudo demonstram que a escolha da fonte de nitrogênio orgânico tem impacto significativo no crescimento micelial do EF60 do *Pleurotus ostreatus* e na qualidade dos biocompósitos obtidos a partir da borra de café. Dentre as fontes orgânicas testadas, os farelos de milho e de trigo com 6,4% de N se destacaram por resultarem em biocompósitos resistentes, o que evidencia que a suplementação com essas fontes de nitrogênio é uma estratégia promissora e eficaz para a produção de biocompósitos de alto desempenho, redução da poluição ambiental e fortalecendo a economia circular.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe – FAPITEC/SE pela bolsa de Iniciação Tecnológica (PII14977- Fontes de nitrogênio na produção de biocompósitos).

REFERÊNCIAS

[1] ABDALLAH, Y. K.; ESTÉVEZ, A. T. Biowelding 3D-printed biodigital brick of seashell-based biocomposite by *Pleurotus ostreatus* mycelium. **Biomimetics**, v.8, 504, 2023. https://doi.org/10.3390/biomimetics8060504

[2] ALANEME, K. K.; ANAELE, J. U.; OKE, T. M.; KAREEM, S. A.; ADEDIRAN, M.; AJIBUWA, O. A.; ANABARANZE, Y. O. Mycelium based composites: A review of their bio-fabrication procedures, material properties and potential for green building and construction applications. **Alexandria Engineering Journal**, v.83, p.234–250, 2023. https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.012

[3] APPELS, F. V. W.; CAMERE, S.; MONTALTI, M.; KARANA, E.; JANSEN, K. M. B.; DIJKSTERHUIS, J.; KRIJGSHELD, P.; WÖSTEN, H. A. B. Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycellium-based composites. **Materials and Design**, v.162, p.64-71. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027

[4] BAKTEMUR, G.; KARA, E.; YARAR, M.; YILMAZ, N.; AĞÇAM, E.; AKYILDIZ, A.; TAŞKIN, H. Yield, quality and enzyme activity of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) grown on different agricultural wastes. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, v.50, n.1, art.12553, 2022. https://doi.org/10.15835/nbha50112553

[5] BARROS, L.; BAPTISTA, P.; ESTEVINHO, L. M.; FERREIRA, I. C. F. R. Bioactive properties of the medicinal mushroom *Leucopaxillus giganteus* mycelium obtained in the presence of different nitrogen sources. **Food Chemistry**, v.105, p.179-186, 2007. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.063

[6] BELLETINI, M. B.; FIORDA, F. A.; MAIVES, H. A.; TEIXEIRA, G. L.; ÁVILA, S.; HORNUNG, P. S.; JÚNIOR, A. M.; RIBANI, R. H. Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.26, n.4, p.633-646, 2019. http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005

[7] BONGA, K. B.; BERTOLACCI, L.; CONTARDI, M.; PAUL, U. C.; ZAFAR, M. S.; MANCINI, G.; MARINI, L.; CESERACCIU, L.; FRAGOULI, D.; ATHANASSIOU, A. Mycelium agrowaste-bound biocomposites as thermal and acoustic insulation materials in building construction. **Macro Molecular Materials Engineering**, v.309, art.2300449, 2024. https://doi.org/10.1002/mame.202300449

[8] CARUAJULCA-MARIN, L.; HUAMÁN-VENTURA, K.; SÁNCHEZ-PURIHUAMÁN, M.; CARO-CASTRO, J.; BARTURÉN-QUISPE, A.; VÁSQUEZ-LLANOS, S.; CARREÑO-FARFÁN, C. *Klebsiella pneumoniae* isolated from the intestines of *Tenebrio molitor* larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) that consume expanded polystyrene. **Revista Ambiente & Água**, v.20, e3037. 2025. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.3037

[9] CHAI, W. Y.; KRISHNAN, U. G.; SABARATNAM, V.; TAN, J. B. L. Assessment of coffee waste in formulation of substrate for oyster mushrooms *Pleurotus pulmonarius* and *Pleurotus floridanus*. **Future Foods**, v.4, 100075, dec. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100075

[10] CHENG, F.; MARTÍN, C.; FINELL, M.; XIONG, S. Enabling efficient bioconversion of birch biomass by

Lentinula edodes: regulatory roles of nitrogen and bark additions on mushroom production and cellulose saccharification. **Biomass Conversion & Biorefinery**, v.12, p.1217-1227, 2022. https://doi.org/10.1007/s13399-020-00794-y

[11] COLLA, I. M.; FILHO, O. B. Q. de O.; BERTÉLI, M. B. D.; FREITAS, J. D. S.; AVELINO, K. V.; RUIZ, S. P.; VALLE, J. S.; LINDE, G. A.; COLAUTO, N. B. Carbon-to-nitrogen ratios on laccase and mushroom production of *Lentinus crinitus*. **Internacional Journal Environmental Science and Technology**, v.20, p. 3941–3952, 2023. https://doi.org/10.1007/s13762-022-04233-5

[12] CORREIA, D. P. A.; SANTANA-SANTOS, I. V.; LIMA, I. S.; ANDRADE, K. R.; BARBOSA, A. V. G.; VIÉGAS, P. R. A.; MARINO, R. H. Produção de mudas de tomateiro em inoculante fúngico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável** (RBRAS), v.11, n.1, p.118-127, 2021. https://doi.org/10.21206/rbas.v11i1.11196

[13] DEDOUSI, M.; MELANOURI.; E. M.; DIAMANTOPOULOU, P. Carposome productivity of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* growing on agro-industrial residues enriched with nitrogen, calcium salts and oils. **Carbon Resources Conversion**, v.6, p.150-165, 2023. https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.02.001

[14] DESCHAMPS, J. L. N.; SCHULZ, J. G.; RIANI, J. C.; BONATTI-CHAVES, M.; BONATTI, M.; SIEBER, S.; LANA, M.; WISBECK, E. Sustainable production of *Pleurotus sajor-caju* mushrooms and biocomposites using brewer's spent and agro-industrial residues. **Scientific Reports**, v.14, art.26281, 2024. https://doi.org/10.1038/s41598-024-77435-1

[15] ELSACKER, E.; VANDELOOK, S.; BRANCART, J.; PEETERS, E.; LAET, L. D. Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. **PLoS ONE**, v.14, n.7, art. e0213954. 2019. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954

[16] HANEEF, M.; CESERACCIU, L.; CANALE, C.; BAYER, I. S.; HEREDIAGUERRERO, J. A.; ATHANASSIOU, A. Advanced materials from fungal mycelium: Fabrication and tuning of physical properties. **Scientific Reports**, v.7, art. 41292, 2017. https://doi.org/10.1038/srep41292

[17] HENNICKE, F.; FLECKENSTEIN, L.; BÃSSLER, C.; KRAH, F. S. Organic nitrogen supplementation increases vegetative and reproductive biomass in a versatile white rot fungus. **Journal of Fungi**, v.9, n.7, 2023. https://doi.org/10.3390/jof9010007

[18] HUYNH, N. H. T.; TRUNG, L. D.; LOC, N. P.; DUONG, D. V.; TRAN, T. Circular economy approach: Cultivating grey oyster mushroom using cassava (*Manihot esculenta*) peel waste from starch production. **E3S Web of Conferences**, v.405, art.01009, 2023. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340501009

[19] ISLAM, M. R.; TUDRYN, G.; BUCINELL, R.; SCHADLER, L., PICU, R. C. Morphology and mechanics of fungal mycelium. **Scientific Reports**, v.7, 13070, 2017. https://doi.org/10.1038/s41598-017-13295-2

[20] JESUS, M. S. de; CORREIA, D. P. A.; PEREIRA, L. B.; MARINO, R. H. Germinação e crescimento inicial de mudas de maracujazeiro azedo em substrato colonizado por fungos comestíveis. **Ensaios e Ciências**, v.28, n.1, p.44-51, 2024. https://doi.org/10.17921/1415-6938.2024v28n1p44-51

[21] MATOS, M. P.; TEIXEIRA, J. L.; NASCIMENTO, B. L.; GRIZA, S.; HOLANDA, F. S. R.; MARINO, R. H. Production of biocomposites from the reuse of coconut powder colonized by Shiitake mushroom. **Ciência e Agrotecnologia**, v.43, e003819, 2019. https://doi.org/10.1590/1413-7054201943003819

[22] MEI, L. H.; OLIVEIRA, N. Caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizando Poli (ε-caprolactona) e borra de café. **Polímeros**, v.27, p.99-109, 2017. https://doi.org/10.1590/0104-1428.2139

[23] MUSSATTO, S. I.; MACHADO, E. M. S.; MARTINS, S.; TEIXEIRA, J. A. Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 5, p. 661–672, 2011. https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z

[24] NARAIAN, R.; SAHU, R. K.; KUMAR, S.; GARG, S. K.; SINGH, C. S.; KANAUJIA, R. S. Influence of different nitrogen rich supplements during cultivation of *Pleurotus florida* on corn cob substrate. **Environmentalist**, v.29, p.1-7, 2009. https://doi.org/10.1007/s10669-008-9174-4

[25] NUSSBAUMER, M.; KARL, T.; BENZ, J. P. Quantification of fungal biomass in mycelium composites made from biogenic side streams. **Fungal Biology and Biotechnology**, v.11, 20, 2024. https://doi.org/10.1186/s40694-024-00189-y

[26] ONGPENG, J. M. C.; INCIONG, E.; SENDO, V.; SOLIMAN, C.; SIGGAOAT, A. Using wast in producing bio-composite mycelium bricks. **Applied Sciences**, v.10, 5303, 2020. https://doi.org/10.3390/app10155303

[27] PEREIRA, L. B. B.; CORREIA, D. P. A.; JESUS, M. S.; MARINO, R. H. Produção do cogumelo "shiitake" em bioembalagens: uma revisão de literatura. In: SILVEIRA, J. H. P. (Org.). **Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia.** Belo Horizonte, MG: Editora Poisson, 2023. v. 14, p. 101-110. http://doi.org/10.36229/978-65-5866-249-5.CAP.10

[28] ROCHA, M. I.; BENKENDORF, S.; GERN, R. M. M.; RIANI, J. C.; WISBECK, E. Desenvolvimento de biocompósitos fúngicos utilizando resíduos industriais. **Revista Matéria**, v.25, n.4, p.1-12, 2020. http://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1140

[29] SANTANA, M. P.; JESUS, M. S.; BARETTO, M. C. V.; VIÉGAS, P. R. A.; HOLANDA, F. S. R.; BARBOSA, A. V. G.; MARINO, R. H. Crescimento de mudas de tomateiro cereja em substrato colonizado por fungos comestíveis. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.28, n.3, p.311-318, 2024. https://doi.org/10.17921/1415-6938.2024v28n3p311-318

[30] SANTANA-SANTOS, I. V.; CORREIA, D. P. A.; JESUS, M. S.; MARINO, R. H. Crescimento de mudas de maracujazeiro azedo em substrato à base de pó de coco suplementado com farelo de trigo. **Ciências Rurais em Foco**, v.9, p.86-97, 2023. https://doi.org/10.36229/978-65-5866-296-9

[31] SANTOS, E. B.; PASSADOR, F. B.; MONTAGNA, L. S. Influência de fatores ambientais nas propriedades mecânicas de biocompósitos de reforçado com fibra de coco e borra de café. **Tecno-Lógica**, v.24, n.1, p.93-102, 2020. https://doi.org/10.17058/tecnolog.v24i1.13505

[32] SILVA, F. C. da **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 634p.

[33] SILVA, E. G.; DIAS, E. S.; SIQUEIRA, F. G.; SCHWAN, R. F. Análise química de corpos de frutificação de *Pleurotus sajor-caju* cultivado em diferentes concentrações de nitrogênio. **Ciência e tecnologia alimentar**, v.27, n.1, p72-75, 2007. https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000100013

[34] SILVA, J. J. da; SANTANA, T. T.; OLIVEIRA, A. C. C.; ALMEIDA, P. H. de; SOUZA, S. G. H. de; LINDE, G. A.; COLAUTO, N. B.; VALLE, J. S. do. Produção de lacase de fungos basidiomicetos por fermentação submersa com casca de café. **Arquivo Ciência Veterinárias Zoológicas**, v.15, n.2, supl.1, p.191-196, 2012.

[35] TEIXEIRA, J. L.; MATOS, M. P. N.; NASCIMENTO, B. L.; GRIZA, S.; HOLANDA, F. S. R.; MARINO, R. H. Production and mechanical evaluation of biodegradable composites by white rot fungi. **Ciência e Agrotecnologia**, v.42, n.6, p.676–684, 2018. https://doi.org/10.1590/1413-70542018426022318

[36] TRANG, N. T. H; THUY, N. T. B.; MO, N. T.; LUYEN, N. T.; NGHIEN, N. X. Optimal culture conditions for the enhanced mycelial growth and cultivation of Shiitake mushroom (*Lentinula edodes*). **Vietnam Journal of Agricultural Sciences**, v.6, n.4, p.1958-1968, 2023. https://doi.org/10.31817/vjas.2023.6.4.06

[37] URBEN, A. F. **Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada: biotecnologia e aplicações na agricultura e na saúde.** 3.ed.). Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. 2017. 276p.

[38] YU, C. H.; ZHANG, Y. R.; REN, Y. F.; ZHAO, Y.; SONG, X. X.; YANG, H. L.; CHEN, M. J. Composition and contents of fatty acids and amino acids in the mycelia of *Lentinula edodes.* **Food Science & Nutrition,** v.11, p.4038-4046, 2023. https://doi.org/10.1002/fsn3.3392

Capítulo 6

Caracterização do crescimento ponderal de frangos caipiras Gris Cendré em ambiente semiárido

Marco Aurélio Carneiro de Holanda
Henrique Soares Leite de Lima
Vinícius Gonzaga Neres
Mônica Calixto Ribeiro de Holanda
Anastácia Brandão de Mélo
Nicoly Farias Gomes

Resumo: Um experimento foi realizado para determinar a curva de crescimento padrão para a linhagem de frangos de corte caipiras Gris Cendre em clima semiárido. Foram utilizados 140 pintos fêmeas de um dia de idade, identificando-se individualmente as aves por meio de anilhas coloridas e numeradas. As aves foram criadas em galpão experimental de alvenaria medindo 12,0 x 8,0 m, formado por 14 parcelas experimentais de 2,0 m2 cada, divididas entre si por tela de polipropileno, contendo um comedouro tipo tubular com capacidade de 20 kg e um bebedouro pendular e o piso forrado com cama de maravalha de madeira com espessura da cama em 20 cm. Foram alojadas 10 aves por parcela experimental distribuídas em um delineamento casualizado com quatro tratamentos (níveis de energia metabolizável aparente: 2,750; 2,800; 2,850 e 3,100 Mcal.kg-1) e um programa de alimentação com quatro fases (pré-inicial, de um a 14 dias; inicial, de 15 a 28 dias; crescimento, 29 a 56 dias e acabamento, de 47 a 84 dias e), um a 14 dias (pré-inicial), 15 a 28 dias (inicial), 29 a 56 dias (crescimento) e de 57 a 84 dias (acabamento), contendo 14 repetições por tratamento, totalizando 14 parcelas experimentais. O fornecimento de água e ração foi à vontade, sendo realizadas pesagens diariamente, das aves e das sobras de ração para cada parcela experimental, com registro de mortalidade, quando ocorridos, para correção dos valores de ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar e estabelecimento de curvas de crescimento das aves, bem como das curvas de consumo de alimento para cada dia de criação. A temperatura e a umidade relativa do ar foram observadas e anotadas diariamente às 9h00 e às 16h00 utilizando-se um termohigrômetro instalado no interior do aviário a altura de massa das aves. O peso corporal das aves foi aferido diariamente durante os 84 dias de observação, e seus resultados anotados em planilha de Excel utilizando três casas decimais. Ao final do período experimental foram avaliados os parâmetros consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar no período de um a 84 dias de idade. Os dados foram testados quanto a homogeneidade e homocedasticidade para após serem submetidos à análise da variância (ANOVA) e ao teste de regressão, utilizando-se o programa computacional R-Project® versão 2.13.1 for Windows e para análise da significância utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Conclui-se que aves fêmeas da linhagem Gri Cendre apresentam crescimento lento principalmente nos primeiros períodos de criação (0 a 56 dias). Estudos mais prolongados principalmente na fase de postura dos ovos devem ser realizados para avaliação dos dados produtivos da linhagem.

Palavras-chave: aves caipiras, carne de aves, desempenho zootécnico, frangos de corte.

1. INTRODUÇÃO

A avicultura de frangos de corte caipira nos últimos anos teve um crescimento acentuado e tem se mostrado um segmento promissor (Aisyahet al., 2018), pois, além de agregar valor ao produto e utilizar um sistema de criação que preza pelas normas de bem-estar animal (Silva et al., 2017; Sousa Júnior et al., 2020), serve tanto para produtores de pequeno e médio porte como para a produção em escala comercial (Morais et al., 2015; Araújo et al., 2018, Brito et al., 2021).

A produção de frangos caipiras tem se constituído como importante ferramenta de trabalho para agricultores participantes da agricultura familiar e tem se mostrado ao longo do tempo como nicho de mercado por ser uma atividade lucrativa, sustentável, e a carne da ave ser de ótima qualidade nutricional e saborosa (Holanda et al., 2015).

Apesar de as linhagens caipiras apresentarem menor potencial de crescimento, desempenho zootécnico e rendimento de partes nobres que os frangos de corte comerciais, sua criação é justificada por atributos diferenciados na qualidade da carne mais próxima da exigida pelo mercado consumidor, como textura e coloração da carne mais acentuada (Santos et al., 2005).

Trabalhos na área de genética vêm sendo realizados com o objetivo de desenvolver aves mais adaptadas, a fim de melhorar os índices produtivos da criação alternativa. Estudos com galinhas caipiras brasileiras são menos reportados em literatura internacional, bastente rigorosa com sequenciamento completo, mas há trabalhos nacionais que tratam de genética adaptativa e parâmetros genéticos como os de Bogdanski, (2019) e Santos Júnior & Mourão (2022). Nesse sentido, é de extrema importância conhecer o padrão e o potencial de crescimento das aves, expresso em peso corporal e ganho de peso (Veloso et al., 2015, Araújo et al., 2018).

O conhecimento da curva de crescimento das diferentes linhagens de frango caipiras fornece subsídios para o setor avícola, pois auxiliam na adoção de práticas de manejo que maximizem a produção de carne, priorizando as necessidades nutricionais de cada fase de crescimento, bem como na definição da idade ótima de abate (Marcato et al., 2010, Veloso et. al., 2015).

Deste modo, o objetivo foi avaliar os padrões de crescimento de aves fêmeas da linhagem Gris Cendre em clima semiárido.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no aviário experimental da Unidade de Ensino, Pesquisa, Extensão e Inovação de Suínos e Aves (UEPE suínos e aves) da Unidade Acadêmica de Serra Talhada, pertencente a Universidade Federal Rural de Pernambuco, no período de setembro de 2024 a dezembro de 2024, no município de Serra Talhada, na microrregião do sertão do Pajeú, mesorregião do sertão de Pernambuco.

A condução da pesquisa foi certificada pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), sob protocolo n° 2448110923 – ID 001824, de acordo com os preceitos da Lei Federal 11.794 de 08 de outubro de 2008 e Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, em consonância com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), aprovada pela CEUA/UFRPE em 15 de maio de 2024.

Foram utilizados 140 pintos fêmea de um dia de idade, da linhagem Gris Cendre, tipo

"caipiras" em box experimentais medindo 2,0 m² contendo cada uma 10 aves, identificando-se individualmente as aves por meio de anilhas coloridas e numeradas. Embora a linhagem Gris cendre seja de dupla aptidão (carne e ovos) o experimento foi voltado para avaliação da linhagem para produção de carne

As aves foram alojadas em galpão de alvenaria, coberto com telhas cerâmicas, piso de cimento e ventiladores instalados, composto por 14 parcelas experimentais forradas com casca de arroz com espessura de 20 cm, divididas entre si por telas de polipropileno. Os animais foram distribuídos em um delineamento casualizado com quatro tratamentos (níveis de energia metabolizável: 2,750; 2,800; 2,850 e 3,100 Mcal.kg-1) e um programa de alimentação com quatro fases (pré-inicial, inicial, crescimento e acabamento), contendo 14 repetições por tratamento, totalizando 14 parcelas experimentais.

As aves foram alimentadas com as dietas experimentais formuladas para serem isoproteicas e isocalóricas, seguindo-se as recomendações de Nascimento et al. (2009 a,b) para aminoácidos e de Mendonça et al. (2007) para energia metabolizável.

O programa de alimentação adotado contemplou quatro fases: 1 a 14 dias (pré-inicial), 15 a 28 dias (inicial), 29 a 56 dias (crescimento) e de 57 a 84 dias (acabamento) conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Composição nutricional das dietas experimentais nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final

Ingredientes	Rações experimentais			
	Pré-Inicial	**Inicial**	**Crescimento**	**Final**
Milho, grão	55,050	57,576	59,513	70,574
Farelo de soja, 46%	25,600	26,716	27,168	25,360
Farelo de trigo	14,752	11,012	10,073	0,990
Calcário calcítico	1,820	1,792	0,949	0,750
Fosfato bicálcico	1,400	1,433	1,203	1,200
Sal	0,460	0,456	0,363	0,332
L-Lisina	0,364	0,320	0,255	0,342
DL-Metionina	0,254	0,258	0,222	0,152
Premix vitamínico[1]	0,100	0,100	0,100	0,100
Premix mineral[2]	0,100	0,100	0,100	0,100
Cloreto de Colina	0,100	0,100	0,100	0,100
Total	**100**	**100**	**100**	**100**
Composição química				
Energia metabolizável, Mcal/kg	2,750	2,800	2,850	3,100
Proteína bruta, %	19,300	19,500	19,500	18,000
Proteína bruta analisada, %	19,600	19,600	20,200	18,800
Amido, %	37,750	39,476	40,744	47,420
Cálcio, %	1,160	1,160	0,780	0,686
Fósforo disponível, %	0,394	0,394	0,351	0,325
Cloro, %	0,302	0,302	0,277	0,236
Fibra bruta, %	3,900	3,900	3,665	2,880
Lisina digestível, %	1,041	1,041	1,006	0,760
Metionina + Cistina digestível, %	0,740	0,740	0,716	0,756
Metionina digestível, %	0,512	0,512	0,448	0,410
Potássio, %	0,748	0,748	0,756	0,678
Sódio, %	0,221	0,221	0,184	0,170

[1] Premix Vitamínico (composição por quilo de produto): Ácido Fólico 106,00 mg; Pantotênico 2.490 mg; Antifúngico 5.000 mg; Antioxidante 200 mg; Biotina 21 mg; Coccidiostático 15.000 mg; Colina 118.750 mg; Vitamina K3 525,20 mg; Niacina 7.840 mg; Piridoxina 210 mg; Riboflavina 1.660 mg, Tiamina 360 mg; Vitamina A 2.090.000 UI; Vitamina B12 123.750 mcg; Vitamina D3 525.000UI; Vitamina E 4.175 mg.

[2] Premix Mineral (composição por quilo de produto): Cu 2.000mg; I 190 mg; Mn 18.750 mg; Se 75 mg; Zn 12.500 mg.

O fornecimento de água e ração foi à vontade, sendo realizadas pesagens diariamente, das aves e das sobras de ração para cada parcela experimental, com registro de mortalidade quando ocorridos, para correção dos valores do ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar, assim como estabelecer curvas de crescimento das aves, bem como as curvas de consumo de alimento das aves para cada dia de criação. A temperatura e a umidade relativa do ar durante o período experimental foram observadas e anotadas diariamente às 9h00 e às 16h00 utilizando-se um termohigrômetro instalado no interior do aviário a altura de massa das aves.

O peso corporal das aves foi aferido diariamente durante 84 dias, e seus resultados anotados em planilha de Excel utilizando três casas decimais.

Os dados foram testados quanto a homogeneidade e homocedasticidade para após serem submetidos à análise da variância (ANOVA) e ao teste de regressão, utilizando-se o programa computacional R-Project® versão 2.13.1 for Windows e para análise da significância será utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento ocorreu numa época do ano em que se observou pouca variação climática entre os dias ocorrendo temperaturas sempre acima de 27 °C como mínimas, e máximas observadas acima de 38 °C, durante todo período experimental como apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Temperaturas e umidades relativas do ar observadas durante os períodos experimentais

	Temperatura (°C)	Umidade (%)
	Período de 01 a 28 dias	
Máxima	38,30	68,50
Mínima	27,10	65,30
Média	32,70	66,90
Período de 29 a 56 dias		
Máxima	39,80	58,90
Mínima	29,40	55,60
Média	34,60	57,25
Período de 57 a 84 dias		
Máxima	38,90	48,00
Mínima	29,20	26,00
Média	34,05	37,00

As médias de temperatura e umidade relativa do ar indicam que durante o período experimental houve uma ampla variação climática com longos períodos de desconforto térmico, com as temperaturas diárias chegando ao ápice de 39,8º C por longos períodos do dia, não se situando próximo a faixa de conforto térmico indicada por Tinoco (2001) que sugere o ambiente confortável para frangos de corte devendo variar entre temperaturas de 22 º e 27º C e umidade relativa oscilando entre 50 e 70%. Durante todo experimento, visualmente se observou a mudança no comportamento ingestivo das aves com aumento do consumo no período noturno, embora não se tenha aferido as temperaturas e umidades relativas do ar.

Observou-se que durante o período da tarde, as aves se encontravam mais quietas, com as asas abertas, pernas esticadas e penas eriçadas, comportamento que expressa o desconforto térmico, semelhante ao descrito por Borges et al. (2003). Alterações de comportamento podem ocorrer rapidamente, como por exemplo, redução de atividade física, pois quando as aves permanecem sentadas, com asas abertas e penas eriçadas há uma maior dissipação de calor por condução e convexão pelo aumento da área superficial corpórea. Aliado a isto também ocorre a redução do consumo de alimento como forma de diminuir a produção de calor endógeno.

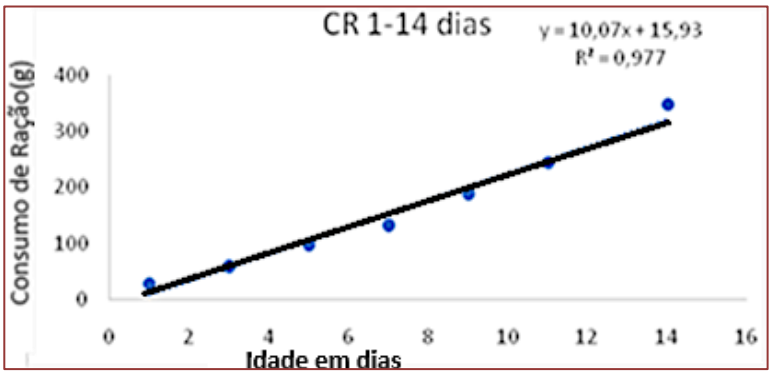
Deste modo, intensificou-se o estímulo ao consumo de ração, girando-se os comedouros de hora em hora, observando assim o efeito deste manejo sobre o desempenho das aves, pois mesmo em condições de estresse calórico, as aves são passíveis de consumir a ração, mesmo em menores quantidades. Os ventiladores instalados no interior do aviário para forçar a circulação de ar e diminuir a temperatura do ambiente para facilitação da troca calórica entre as aves e o ambiente, possivelmente ajudou a diminuir os efeitos danosos do clima sobre o desempenho das aves.

Ressalta-se que o experimento foi realizado em ambiente semiárido, no sertão pernambucano, cujas umidades relativas do ar médias se mantiveram próximas da recomendação de Tinoco (2001) para frangos de corte. Segundo Oliveira et al. (2006), aves em ambientes de alta temperatura e umidade relativa baixa (calor seco) apresentam menor nível de estresse calórico do que em ambientes de alta temperatura e alta umidade (calor úmido), visto que a baixa umidade facilita a perda de calor por evaporação. Isso significa que, quando comparados a ambientes quentes e úmidos, aves no calor seco tiveram algum alívio térmico.

De acordo com Valério (2000), a perda de calor para o ambiente por evaporação é lenta quando a umidade é elevada, diminuindo a perda de calor e alterando o equilíbrio térmico da ave.

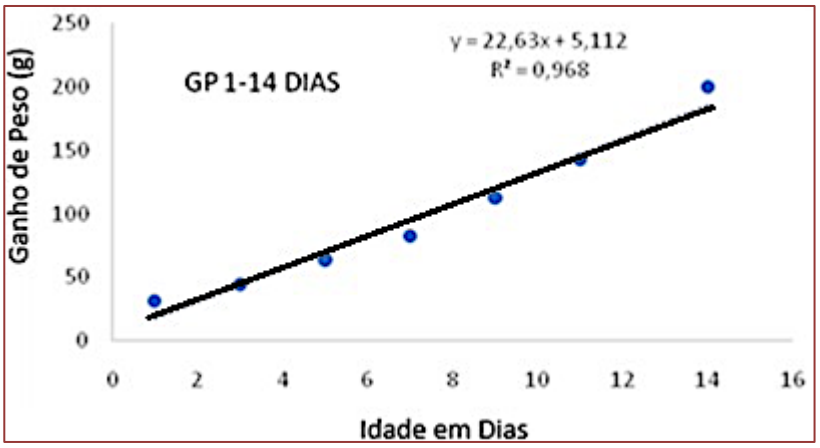
Após analises estatísticas dos dados observou-se que as aves fêmeas da linhagem Gris Cendre apresentaram um consumo médio diário de ração de 157 g no período de um a 14 dias de idade conforme apresentado na Figura 1. No entanto, como explicado pelo modelo, as aves apresentaram um aumento diário no consumo de ração de 10,1 g no período, mostrando que nas duas primeiras semanas de experimento as aves apresentaram um consumo de alimentos pouco pronunciado.

Figura 1. Consumo de ração das aves da linhagem Gris Cendre no período de um a 14 dias de idade



Neste mesmo período o ganho de peso se comportou de forma crescente a uma média de 22,63 g de aumento no peso médio das aves (Figura 2).

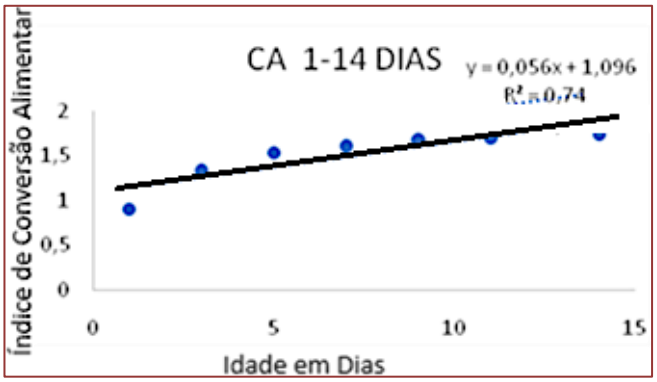
Figura 2. Ganho de peso das aves da linhagem Gris Cendre no período de um a 14 dias de idade



Como esperado, aves de crescimento lento não apresentam altas taxas de ganho de peso nos primeiros dias de vida, provavelmente em função das características genéticas da linhagem que são de baixa a moderada velocidade para ganho de peso nas primeiras semanas de vida.

Contudo, o impacto da baixa velocidade de ganho de peso em função do consumo de ração se vê refletido na taxa de conversão alimentar que foi de 1,88, como (Figura 3).

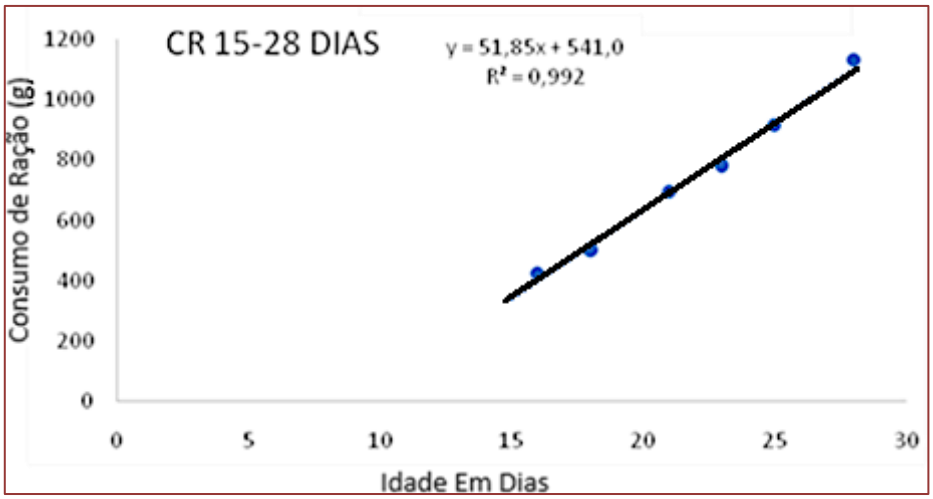
Figura 3. Conversão alimentar das aves da linhagem Gris Cendre no período de um a 14 dias de idade



A conversão alimentar verificada é crescente, ou seja, a medida que as aves aumentam o consumo de ração, o ganho em peso não acompanha na mesma velocidade, o que implica em baixa eficiência do organismo em converter os nutrientes da dieta em massa corporal. Estes resultados corroboram com Brito et al. (2021) que, avaliando curvas de crescimento para aves de linhagens caipiras, observaram baixa taxa de ganho de peso nas primeiras semanas de vida das aves, isso mostra que essa menor taxa de crescimento possivelmente está relacionada ao fato de ser uma linhagem de dupla finalidade (carne e ovos) (Albino; Moreira, 2006).

No segundo período de avaliação dos 15 aos 28 (inicial) dias o consumo de ração se manteve em constante crescimento (Figura 4).

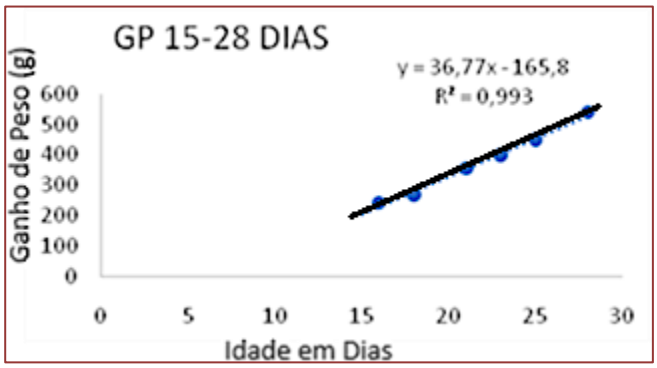
Figura 4. Consumo de ração das aves da linhagem Gris Cendre no período dos 15 aos 28 dias de idade



O consumo médio de ração observado foi de 51,8 g por dia. Entretanto, esse aumento no consumo de ração não se refletiu com a mesma intensidade sobre o ganho de peso diário das aves nesse período, que foi de apenas 36,7 g, pesando no final do período aproximadamente 514 g, como mostrado pelo modelo matemático apresentado na

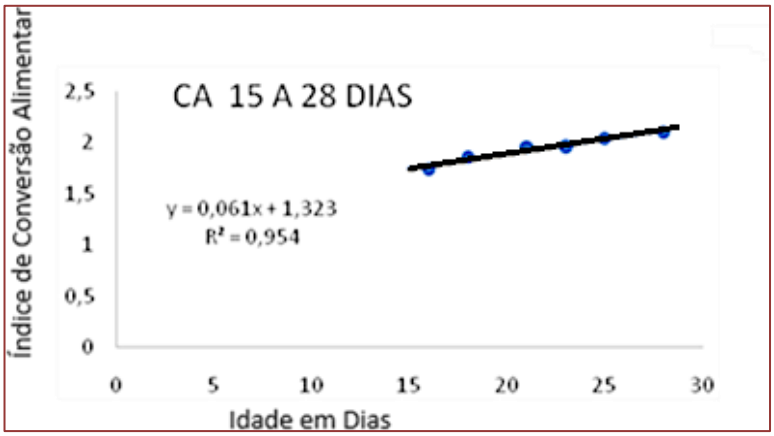
Figura 5.

Figura 5. Ganho de peso das aves de linhagem Gris Cendre no período de 15 a 28 dias de idade



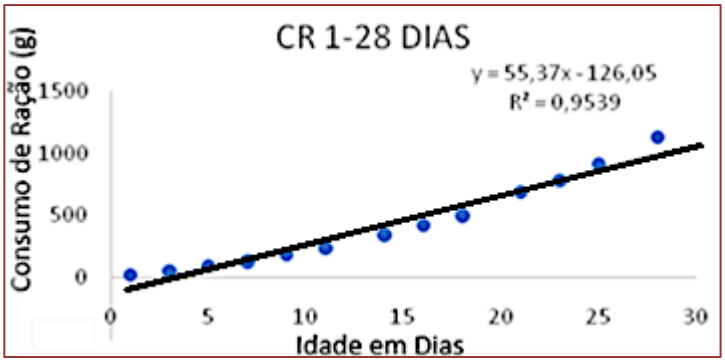
Isso, implica em uma taxa de conversão alimentar considerada baixa quando comparada com aves geneticamente melhoradas para alta velocidade de ganho de peso com baixo consumo de ração. As aves experimentais apresentaram um índice de conversão alimentar com aumento de 0,061 pontos para cada dia de aumento no período de criação (Figura 6). Porém, essa taxa é considerada normal para aves cujas características genéticas são de baixa velocidade de ganho em peso mesmo consumindo quantidades moderadas de ração. Estes resultados mostram-se inferiores àqueles reportados no Manual de Manejo Linha Colonial (Globo Aves, 2023) que descreve um ganho de peso de 830 g.

Figura 6. Conversão alimentar das aves da linhagem Gris Cendre no período de 15 a 28 dias de idade



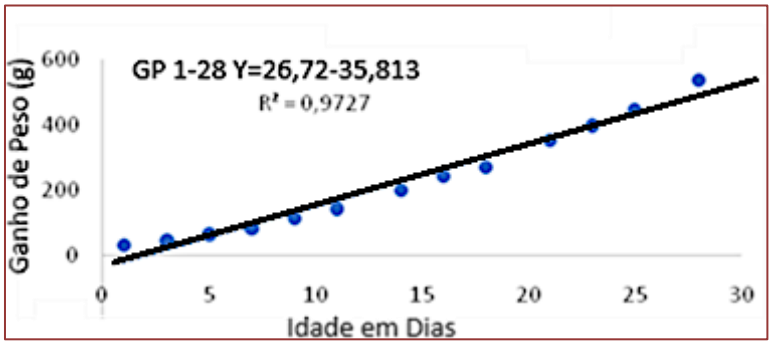
Quando analisado o período inicial completo (de 1 a 28 dias) observou-se um consumo de ração total de 1.424 g de ração e um consumo médio diário estimado em 50,87 g (Figura 7), sendo que nas duas primeiras semanas esse consumo mostrou-se baixo e quase constante, apresentando um aumento significativo apenas a partir dos 15 dias de idade.

Figura 7. Consumo de ração das aves da linhagem Gris Cendre no período de um a 28 dias de idade



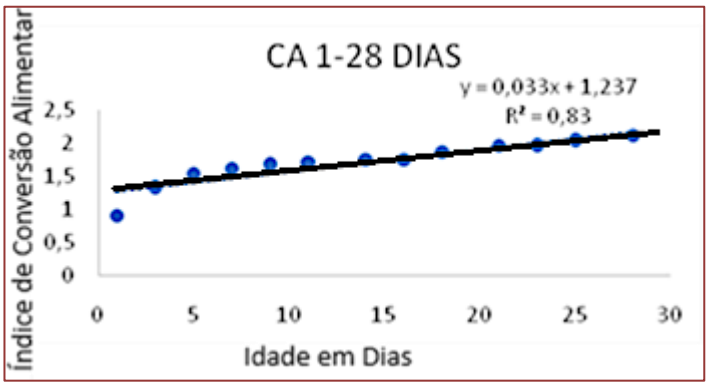
Comportamento semelhante ocorreu para a variável ganho de peso cujas aves apresentaram um ganho de 713 g com um ganho médio estimado de 25,4 g, expressados pelo modelo matemático constante na Figura 8.

Figura 8. Ganho de peso das aves da linhagem Gris Cendre no período de um a 28 dias de idade



Contudo, assim como o consumo de ração, o ganho de peso torna-se mais pronunciado a partir dos 15 dias de idade, quando as aves multiplicam seu peso em aproximadamente 400%, chegando a apresentarem um peso médio de 713 g. Essas observações poderiam implicar em índices de conversão alimentar bastante interessantes, no entanto, como os comportamentos de consumo de ração e ganhos de peso das aves são semelhantes, os primeiros dias de criação impactam negativamente esse índice (Figura 9), determinando o índice de conversão alimentar de 2,17. Estes resultados são maiores que aqueles descritos na literatura, indicando assim menor eficiência produtiva das aves no período que provavelmente pode ter sido prejudicada pelas altas temperaturas do ambiente registradas nesta fase experimental.

Figura 9. Conversão alimentar das aves da linhagem Gris Cendre no período de um a 28 dias de idade

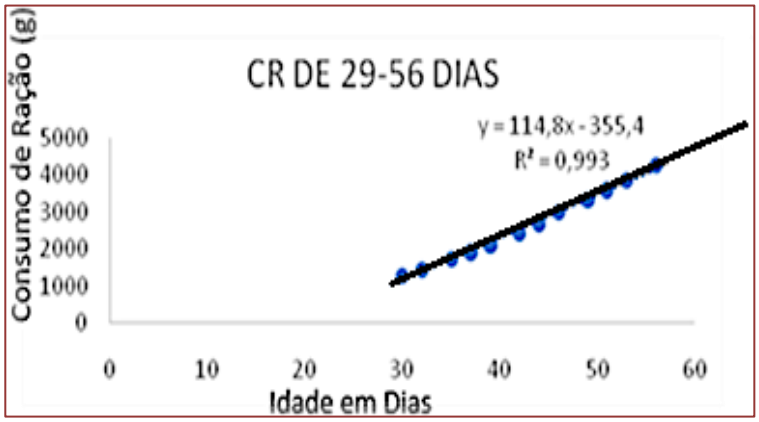


Araújo et al. (2018) obtiveram resultados semelhantes, com aves da linhagem Carijó que apresentaram menor taxa de crescimento que as aves da linhagem Caipirão Vermelho (CPK).

Santos et al. (2005), em um estudo comparando as linhagens caipiras Carijó e Pescoço Pelado, observaram que as primeiras apresentaram maior potencial de crescimento. Os índices de conversão alimentar observados neste experimento também se mostraram superiores aos descritos no Manual de Manejo Linha Colonial (Globo Aves, 2023), de 1,63 pontos e daquele descrito por Hellmeister Filho et al. (2003) que observaram conversão alimentar de 2,06.

Quando analisado o segundo período de criação dos 29 aos 56 dias de idade (crescimento), observou-se que o consumo médio diário de ração foi de aproximadamente 115 g, mostrando que as aves consumiram no total 4.126 g de ração no período, conforme modelo matemático (Figura 10).

Figura 10. Consumo de ração das aves da linhagem Gris Cendre no período de 29 a 56 dias de idade

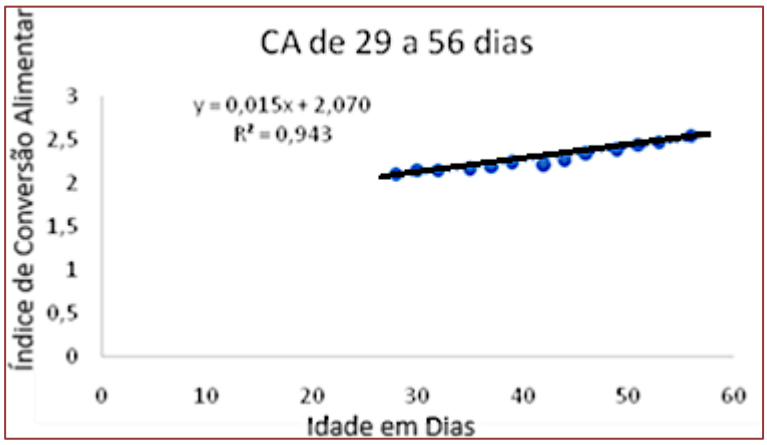


Já o ganho de peso aumentou em média 42 g como apresentado na Figura 11, tendo as aves apresentado peso médio no período de 1.674 g (Figura 11).

Figura 11. Ganho de peso de frangos de corte da linhagem Gris Cendre no período de 29 a 56 dias de idade

Isso implica em afirmar que as aves obtiveram índices de conversão alimentar para o período em média de 2,49 determinado pelo modelo matemático expresso na Figura 12.

Figura 12. Conversão alimentar de frangos de corte da linhagem Gris Cendre no período de 29 a 56 dias de idade



Contudo, esse índice mostra-se melhor quando comparado aos resultados descritos por Holanda et al. (2015) e por Hellmeister Filho et al. (2003) que observaram conversão de 2,6 para esta fase de criação para a linhagem Carijó. Este comportamento reflete em baixa eficiência de conversão alimentar, na proporção de 2,5:1, mesmo levando-se em consideração que as fêmeas da linhagem Gris Cendre têm como características ganhos de peso menores quando comparados a aves de crescimento rápido.

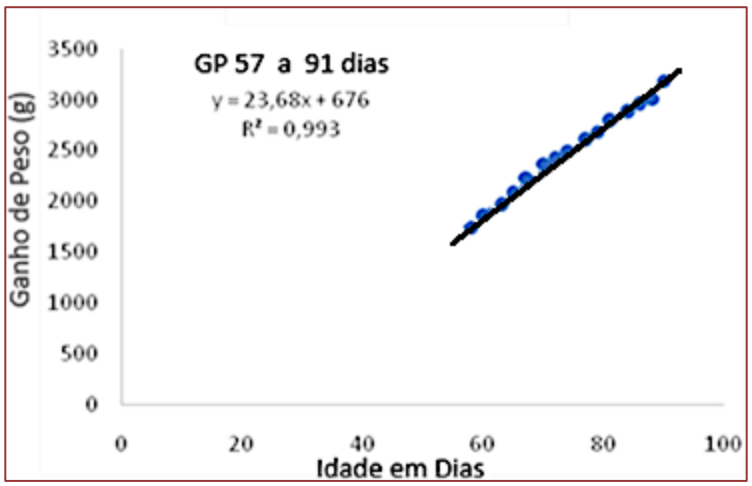
No entanto, alguns estudos relatam diferenças no crescimento de genótipos de galinhas caipiras, independentemente do modelo matemático utilizado (Santos et al., 2005; Rizzi et al., 2013; Eleroğlu et al., 2014; Tavares et al., 2015).

Isso demonstra que conhecer a velocidade de crescimento da linhagem permite adotar técnicas de manejo que podem influenciar o desempenho alimentar das aves, o sistema de criação e a escolha do grupo genético a ser utilizado (Ribeiro et al., 2020). Dessa forma, os produtores podem reduzir a idade de abate e, consequentemente, os custos de

produção.

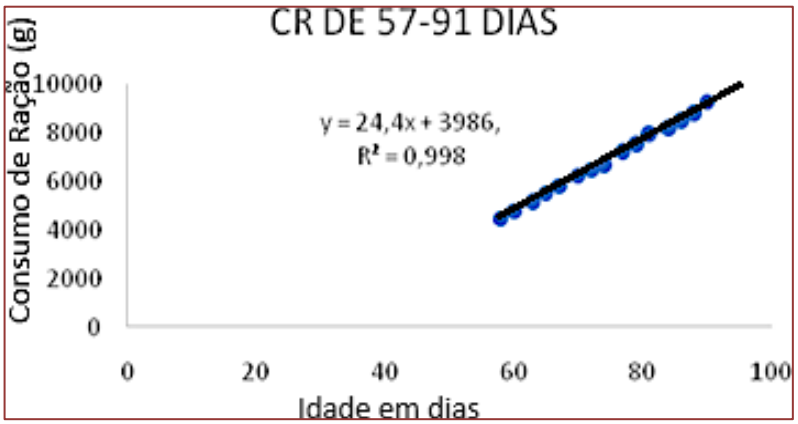
Aos 91 dias de idade observou-se que as aves atingiram um peso médio final de 3.161 g com um ganho diário estimado em 43 g. Isto implica em um ganho de peso médio acumulado de 1.505 g no período de 57 a 91 dias de idade estimado através do modelo matemático apresentado na Figura 13.

Figura 13. Ganho de peso de frangos de corte da linhagem Gris Cendre no período de 57 a 91 dias de idade



Contudo, as aves consumiram em média 9.123 g de ração no acumulado de 91 dias, possibilitando estimar o consumo médio de ração no período em 4.840 g por ave no período (Figura 14).

Figura 14. Consumo de ração de frangos de corte da linhagem Gris Cendre no período de 57 aos 90 dias de idade



Deste modo, a conversão alimentar determinada para o período alcançou o índice de 3,21 (Figura 15), com todos os dados de produção apresentados resumidamente na Tabela 3.

Figura 15. Conversão alimentar de frangos de corte da linhagem Gris Cendre no período de 57 a 90 dias de idade

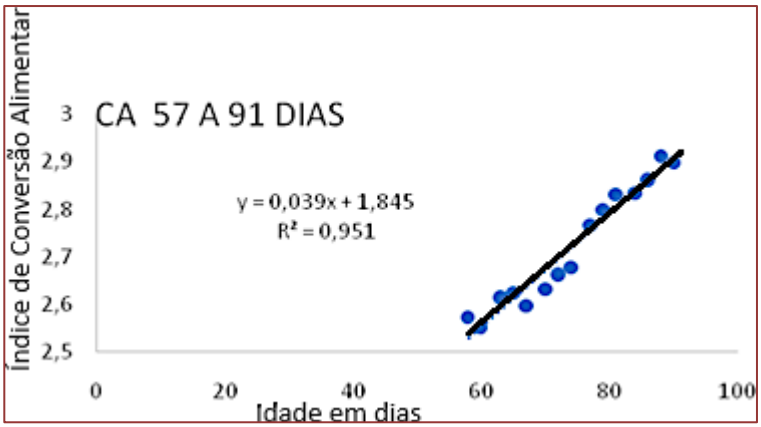


Tabela 3. Médias e desvio padrão do peso acumulado, ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar de aves fêmeas Gris Cendre por fase de criação

Variável	Idade em dias					P valor
	01	14	28	56	91	
Peso	42 ± 4,00	364 ± 18,00	755 ±3 2,00	1.716 ± 52,00	3.179 ± 160,0	0,001
GP, g	0,0 ± 10,50	322 ± 10,60	349,0 ± 2,80	961,0 ± 5,60	1.505 ± 8,00	0,001
CR, g	22 ± 11,50	157 ± 6,40	1.267 ± 25,80	2.859 ± 6,20	4.840 ± 25,8	0,001
CA, g/g	0,00 ± 0,14	1,88 ± 0,16	2,17 ± 0,26	2,49 ± 0,06	3,21 ± 0,12	0,020

As diferenças em relação à aptidão e ao desempenho de linhagens comerciais de frangos tipo caipiras são grandes, comparadas às linhagens industriais existentes (Figueiredo, 2001). Isso explica, em parte, as diferenças de desempenho produtivo encontrado entre as linhagens comerciais de frangos tipo caipiras, além do fato dessas linhagens estarem no mercado há pouco tempo e também pela pequena quantidade de trabalhos realizados nesta área.

4. CONCLUSÃO

A partir da pesquisa realizada foi possível concluir que aves fêmeas da linhagem Gris Cendre apresentam características de crescimento lento principalmente nos primeiros períodos de criação (0 a 56 dias).

Embora essa linhagem, assim como outras raças caipiras, apresente essa característica, fatores como a temperatura e o manejo podem influenciar no desempenho animal.

Dessa forma, como a linhagem é de dupla aptidão, estudos mais aprofundados, principalmente na fase de postura dos ovos, devem ser realizados para complementar a avaliação dos dados produtivos desta linhagem.

REFERÊNCIAS

[1] ALBINO, Luiz Fernando Teixeira; MOREIRA, Pedro. **Criação de Frango e Galinha Caipira**. Centro de Produções Técnicas (CPT. Série Avicultura), 2006, 198p. ISBN: 978-85-88764-32-6.

[2] AISYAH, S.; SEMBIRING, Iskandar; MIRWANDHONO, E. The Analysis of Factors that Affecting

theAmount of Free-Range Chicken Meat's Consumption in Langkat Regency. **Journal Peternakan Integratif**, v. 6, n. 3, p. 1827-1832, 2018. Disponível em: < https://www.semanticscholar.org/paper/The-Analysis-of-Factors-that-Affecting-the-Amount-Aisyah-Sembiring/a6730da2f1368d7c4e5ab1ead4dee27e1185ef98>. Acesso em: 10 dez. 2025.

[3] ARAUJO, Caroliny Costa; RODRIGUES, Kênia Ferreira; VAZ, Roberta Gomes Marçal Vieira; et al. **Acta Scientiarum Animal Science**, v. 40, p. e38806, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asas/a/jgsXL49CkmgfHrWjLdGWSKr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2025.

[4] BOGDANSKI, Fátima Auler. **Parâmetros genéticos de características de produção e qualidade de ovos em linhagens nacionais de galinhas caipiras.** 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-03092019-150543/. Acesso em: 18 dez. 2025.

[5] BORGES, Sebastião Aparecido; MAIORKA, Alex; SILVA, Ana Vitória Fischer da. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Ciência Rural**, v. 33, n. 5, p. 975-981, set-out, 2003. Disponível em: < https://www.scielo.br/j/cr/a/6PDkwXLy5YDyQTFBZ3M3jqJ/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2025.

[6] BRITO, Claudson Oliveira; MACIEL, Janaína Thainara de Lima; CORASSA, Anderson; et al. Growth curves of different free- range chicken lineages by the Gompertz model. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, e48610515014, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15014>. Acesso em: 18 dez. 2025.

[7] FIGUEIREDO, Elsio Antonio Pereira de. Diferentes denominações e classificação brasileira de produção alternativa de frangos. In: CONFERENCIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLA – APINCO, 2001, Campinas. **Anais...** Campinas: Apinco, 2001. p. 209-222.

[8] GLOBOAVES. **Manual de manejo linha colonial**. 2023. Disponível em: <https://globoaves.com.br/wp-content/uploads/2023/05/Globoaves-Manual-de- Manejo-2023_Web.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2026.

[9] HELLMEISTER FILHO, Paulo, MENTEN, José Fernando Machado, SILVA, Marco Aurélio Neves da.; et al. Efeito de Genótipo e do Sistema de Criação sobre o Desempenho de Frangos Tipo Caipira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1883-1889, 2003 (Supl. 2). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/DjvyY8fVQRGz87p459zsQqc/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 15 dez. 2025.

[10] HOLANDA, Marco Aurélio Carneiro de, HOLANDA, Mônica Calixto Ribeiro de, VIGODERES, Ricardo Brauer Desempenho de frangos caipiras alimentados com farelo integral de mandioca. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 16, n. 1, p. 106-117, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/N3C7Bgbpcqk4PTxNnStJ5GS/?lang=pt>. Acesso em: 15 dez. 2025.

[11] MARCATO, Simara Márcia; SAKOMURA, Nilva Kazue; FERNANDES, João Batista Kochenborger. Crescimento e deposição denutrientes nos órgãos de frangos de corte de duas linhagens comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n. 5, p.1082-1091, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/mrhBcqP76JyGHmNtYG3QL4L/?lang=pt>. Acesso em: 14 dez. 2025.

[12] MENDONÇA, Michele de Oliveira; SAKOMURA, Nilva Kazue; SANTOS, Fabiana Ramos dos; et al. Níveis de energia metabolizável e relações energia:proteína para aves de corte de crescimento lento criadas em sistema semi confinado. **Acta Scientiarium Animal Science**, v. 29, n. 1, p. 23-30, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3031/303126486004.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2025.

[13] MORAIS, Jonas; FERREIRA, Priscila Becker; JACOME, Ianglio Márcio Travassos Duarte. Curva de crescimento de diferentes linhagens de frango de corte caipira. **Ciência Rural**, v. 45, n. 10, p. 1872- 1878, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/cggyjmfCTpKdXX9NR9XNLbq/?lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2025.

[14] NASCIMENTO, Daphinne Cardoso Nagib; SAKOMURA, Nilva Kazue; SIQUEIRA, J. C.; et al. Exigências de lisina digestível para aves de corte da linhagem ISA Label criadas em semi confinamento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, n. 5, p.1128-1138, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/ZkPVvCZpD6cTyJYfkSv5DPK/?lang=pt>. Acesso em: 16 dez. 2025.

[15] OLIVEIRA, Rita Flávia Miranda de; DONZELE, Juarez Lopes; ABREU, Márvio Lobão Teixeira de; et

al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade**. Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p.797-803, Jun. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/w63yqdrjCxZhhcZsGBxBBbc/>. Acesso em. 18 dez. 2025.

[16] SANTOS, Andrea Luciana dos; SAKOMURA, Nilva Kazue; FREITAS, Ednardo Rodrigues; et a. Estudo do Crescimento, Desempenho, Rendimento de Carcaça e Qualidade de Carne de Três Linhagens de Frango de Corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 05, p. 1589-1598, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/j7ZL3Pc555djqBNGzJvKJSf/abstract/?lang=pt>. Acesso em. 18 dez. 2025.

[17] SANROS JÚNIOR, Luiz Firmino dos. **Análise genética de características de produção e qualidade de ovos de linhagens de aves caipiras (*Gallus gallus*) utilizando modelos de regressão e multivariados.** 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-08112022-162812/. Acesso em: 18 dez. 2025.

[18] SILVA, Marco Aurélio Nunes; HELLMEISTER FILHO, Paulo; ROSÁRIO, Millor Fernandes do; et al. Adaptação de linhagens de galinhas para corte ao sistema de criação semi-intensivo**. Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 4, p. 219-225, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbca/a/JMvrqPmMrjLKM7HLZJPJTWj/?lang=pt>. Acesso em: 18 dez. 2025.

[19] SILVA, Débora Cristina Fernandes da; ARRUDA, Alex Martins Varela de; GONÇALVES, Alex Augusto. Quality characteristics of broiler chickenmeat from free-range and industrial poultry system for the consumers. **Journal of Food Scienceand Technology**, v. 54, n. 7, p. 1818-1826, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28720937/>. Acesso em: 18 dez. 2025.

[20] SOUSA JÚNIOR, José Carlos de Sousa; ROCHA, Fernanda Rodrigues Taveira; COELHO, Karyne Oliveira. Análise bibliométrica sobre galinha e frango caipira/colonial. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e773986354-e773986354, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/343221192_Analise_bibliometrica_sobre_galinha_e_frango_caipira_colonial>. Acesso em: 16 dez. 2025.

[21] TINÔCO, Ilda de Fátima Ferreira. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/26373474_Avicultura_Industrial_Novos_Conceitos_de_Materiais_Concepcoes_e_Tecnicas_Construtivas_Disponiveis_para_Galpoes_Avicolas_Brasileiros>. Acesso em: 16 dez. 2025.

[22] VALÉRIO, Sérgio R. **Ambiência, instalações e equipamentos avícolas**. In: LANA, Geraldo Roberto Quintão (Ed.) Avicultura. Piracicaba: Livraria e Editora Rural, 2000. p.126-158. ISBN 8587702017 (broch.).

[23] VELOSO, Rogério de Carvalho; PIRES, Aaldrin Vieira; TORRES FILHO, Rodolpho de Almeida; et al. Crescimento de genótipos de frangos tipo caipira. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 5, p. 1361-1371, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/3TjnjmZMMMgn5XGTgnZLDQS/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 15 dez. 2025.

Capítulo 7

Gestão da qualidade no abate avícola: processos, normas e boas práticas

Marco Aurélio Carneiro de Holanda
Jéssica Cristina da Silva Oliveira
Clairton Bruno Rodrigues de Morais
Mônica Calixto Ribeiro de Holanda
Tiago Gonçalves Pereira Araujo
Nicoly Farias Gomes

Resumo: A avicultura industrial brasileira ocupa posição de destaque no agronegócio nacional, colocando o Brasil, entre os maiores produtores e exportadores de carne de frango do mundo. Diante desse cenário, torna-se imprescindível a adoção de elevados padrões de qualidade e segurança dos alimentos, especialmente nos abatedouros avícolas, responsáveis pela transformação das aves vivas em produtos destinados ao consumo humano. O controle de qualidade nesses estabelecimentos desempenha papel fundamental, uma vez que envolve o monitoramento contínuo de todas as etapas do processo produtivo, desde a recepção das aves até a expedição do produto final. Esse controle está diretamente relacionado à aplicação das Boas Práticas de Fabricação, dos Procedimentos Operacionais Padronizados e dos Programas de Autocontrole, que visam assegurar a inocuidade dos alimentos, a padronização dos processos e a conformidade com a legislação sanitária vigente. Além disso, o controle de qualidade contribui para a garantia do bem-estar animal durante o manejo pré-abate e as operações industriais, reduzindo perdas econômicas e prevenindo contaminações físicas, químicas e microbiológicas. Dessa forma, as atividades desenvolvidas no setor de controle de qualidade em abatedouros avícolas são essenciais para assegurar a produção de alimentos seguros e de qualidade destinados ao consumidor.

Palavras-chave: abatedouro avícola, carne de frango, controle de qualidade, saúde pública, segurança dos alimentos.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A avicultura industrial brasileira destaca-se como uma das principais atividades do agronegócio nacional, posicionando o Brasil entre os maiores produtores e exportadores de carne de frango do mundo. Esse cenário exige elevados padrões de qualidade e segurança dos alimentos, especialmente nos abatedouros avícolas, que são responsáveis pela conversão das aves vivas em produtos destinados ao consumo humano (Klein; Vidal, 2022).

O Brasil em 2024 produziu 14,972 milhões de toneladas de carne de frango, o que gerou R$ 105,972 bilhões de valor bruto produção (VBP), ranqueando o país como terceiro maior produtor e primeiro exportador de carne de frango para o mundo, principalmente para a Ásia (31,79%), Oriente Médio (30, 59%) e África (18,70%) (ABPA, 2025). Os principais produtos exportados são na forma de cortes, que em 2024, alcançou o volume de 3.844.132 t (74,45%), frango inteiro com 1.044.086 t (20,22%), salgados com um volume de 152.011 t (2,94%) e industrializados com 123.065 t (2,38%), o que demonstra o real potencial do país como exportador conforme a Secretaria de Comércio Exterior – SECEX (APBA, 2025).

Nesse contexto, o controle de qualidade em abatedouros avícolas assume papel essencial, uma vez que envolve o monitoramento contínuo de todas as etapas do processo produtivo, desde a recepção das aves até a expedição do produto final. As ações de controle de qualidade estão diretamente relacionadas à aplicação das Boas Práticas de Fabricação – BPF, dos Procedimentos Operacionais Padronizados – POP e dos Programas de Autocontrole – PAC, os quais visam assegurar a inocuidade dos alimentos, a padronização dos processos e a conformidade com a legislação sanitária vigente, visando a disponibilização de um produto de alta qualidade sanitária para o mercado consumidor (Brasil, 2017).

Em se tratando de saúde única, um rígido controle de qualidade também contribui para a garantia do bem-estar animal durante o manejo pré-abate e as operações industriais, além de reduzir perdas econômicas e prevenir contaminações físicas, químicas e microbiológicas. Para tanto, é fundamental atender às exigências dos serviços oficiais de inspeção, como o Serviço de Serviço de Inspeção Federal – SIF, garantindo que os produtos estejam aptos para o consumo e comercialização (Brasil, 2020).

Dessa forma, teve-se por objetivo descrever as atividades desenvolvidas em um abatedouro avícola, com ênfase no setor de controle de qualidade, apresentando os procedimentos adotados nas diferentes etapas do abate e destacando a importância do cumprimento das normas sanitárias vigentes e dos programas de autocontrole para a produção de alimentos sanitariamente seguros ao consumidor.

1. LINHA DE ABATE DAS AVES

Anteriormente ao dia do abate o controle de qualidade recebe de forma virtual toda documentação sobre o lote que será abatido. A empresa deve exigir a Guia de Trânsito Animal – GTA e o boletim sanitário, além do teste negativo para *Salmonella* aplicável para aves com idade mínima de 21 dias, realizado por laboratório credenciado pelo MAPA conforme Portaria nº 233, de 06 de julho de 2014. Essa documentação deve seguir para fiscalização da Agência Defesa Agropecuária e Fiscalização – ADAGRO de cada local, para avaliação e liberação.

A empresa deve solicitar dos fornecedores das aves atenção especial aos cuidados com sanidade e bem-estar animal, a fim de evitar quaisquer tipos de condutas de manejo que venham interferir direta ou indiretamente na qualidade, inocuidade e segurança das carcaças. Só depois de conferida e, confirmada as informações, é preenchida a ficha de programação de abate, a qual deve ser entregue para o fiscal.

No dia do abate são observadas e documentadas em planilhas específicas as condições higiênico-sanitárias das instalações do abatedouro que tenham contato direto com o produto.

Os Procedimentos Padrão de Higiene Operacional – PPHO pré-operacional compreendem as atividades de limpeza e sanitização realizadas antes do início das operações do estabelecimento, desde a higienização após o término da produção até o momento imediatamente anterior ao reinício das atividades. Essas ações são executadas diariamente, seguindo rotinas padronizadas, com desmontagem parcial de alguns equipamentos conforme suas características e orientações dos fabricantes.

Um abatedouro avícola deve possuir instalações bem planejadas e adequadas à legislação vigente de forma a beneficiar as operações de abate, garantindo a higiene dos produtos, o bem-estar animal e a preservação do meio ambiente, contemplando desta maneira a sustentabilidade de todo o processo produtivo.

Na linha de abate de aves as instalações consistem em área suja (galpão de espera, desembarque e recepção, corredor de sangria e área de escaldagem e de depenagem); em área limpa (evisceração, sala de miúdos, pré-resfriamento, sala de corte e embalagem primaria, setor de embalagem secundária); expedição e, por fim, a sala de máquinas que é o local de controle de refrigeração e funcionamento dos motores das máquinas da indústria.

A seguir cada uma destas áreas será pormenorizada.

1.1. GALPÃO DE ESPERA, DESEMBARQUE E RECEPÇÃO

Ousa-se afirmar que o processo de abate já se inicia nas operações de espera, desembarque e recepção (etapas de pré-abate), as quais são extremamente importantes para garantir não apenas o bem-estar das aves, mas a inocuidade do produto a ser obtido.

No galpão de espera os caminhões carregados com as aves devem ficar estacionados nos galpões de descanso e cada galpão deve ser equipado com sistema de resfriamento conjugado (ventiladores + nebulizadores), cuja temperatura ambiente e umidade relativa do ar são controladas ($\leqq 30$ °C e > 69%), visando minimizar o estresse térmico e promover o bem-estar das aves antes do abate, conforme o Programa de Autocontrole (PAC 14) constante na Norma Interna nº 01/2017 do DIPOA/MAPA (Brasil, 2017).

A Norma Interna n° 01/2017 do DIPOA/MAPA aprovar os modelos de formulários, estabelece as frequências e as amostragens mínimas a serem utilizadas na inspeção e fiscalização, para verificação oficial dos autocontroles implantados pelos estabelecimentos de produtos de origem animal registrados (SIF) ou relacionados (ER) junto ao DIPOA/SDA, assim como aprova o manual de procedimentos (Brasil, 2017).

É essencial que o desembarque seja facilitado e realizado de forma cuidadosa. Os caminhões devem descarregar as caixas ou gaiolas (ou módulos) com as aves em ambiente coberto (plataforma de desembarque) por meio de elevador esteira, que adequa a sua posição, sem inversão ou inclinação de sua posição que acarrete a sobreposição dos

animais. Essa esteira deve conduzir as gaiolas/caixas até a pendura das aves. Nesse momento, as aves são penduradas pelos pés em uma nória (ganchos de inox apoiados em trilhagem aérea mecanizada) que carrega as aves para o tanque de insensibilização. A área suja, cujo termo já define muito, não pode se comunicar com a área limpa, excetuando-se pela passagem da nória transportadora do frango. Uma vez concluída esta etapa, as aves são encaminhadas à próxima fase do abate – a sangria.

Após o descarrego do caminhão todas as gaiolas devem ser higienizadas em uma máquina apropriada com jatos de água, para a retirada de resíduos, fezes e penas.

1.2. PROCESSOS DE CONTENÇÃO, INSENSIBILIZAÇÃO E SANGRIA

Antes da insensibilização as aves devem ser contidas por imobilização sem dor ou agitação. Quando se trata de insensibilização mecânica deve haver mecanismo para conter a cabeça. Já quando se tratar de insensibilização elétrica, as aves podem ser suspensas pelas patas para desde que respeitados os requisitos específicos ou por imersão da cabeça em líquido.

A insensibilização é o processo ou procedimento aplicado intencionalmente ao animal para promover um estado de inconsciência e insensibilidade, podendo ou não provocar morte instantânea, conforme Art. 4°, inciso VII da Portaria MAPA nº 365/2021 (Brasil, 2021). Assim, a legislação brasileira define que a insensibilização deve ser realizada de maneira padronizada e controlada, utilizando métodos reconhecidos e autorizados pelo Ministério de Agricultura e Pecuária – MAPA, visando promover a inconsciência imediata e contínua da ave antes da sangria, respeitando princípios de bem-estar animal e garantindo a segurança do processo de abate, exceto em abates sob preceitos religiosos, conforme Art. 42.

A Portaria MAPA nº 365, de 16 de julho de 2021, aprova o Regulamento Técnico de Manejo Pré-Abate e Abate Humanitário e os métodos de insensibilização, definindo os métodos de insensibilização quais podem ser utilizados (insensibilização mecânica com pistola de dardo cativo penetrante e não penetrante; insensibilização por corrente elétrica na cabeça ou do corpo todo em tanque de imersão; dióxido de carbono – CO_2 associado a gases inertes; CO_2 em duas fases e por gases inertes como argônio e nitrogênio) e exige que o processo seja realizado de forma a reduzir sofrimento, promover inconsciência efetiva e garantir que a ave não recupere sensibilidade antes da sangria. Ao sair do tanque de insensibilização a ave deve ser sangrada em até 12 segundos para que ela não recupere a sensibilidade.

Após a insensibilização, os animais devem permanecer inconscientes e insensíveis até a morte por sangria (choque hipovolêmico), o que evita que recuperem sensibilidade antes do término do procedimento. Em seu Art. 55, A Portaria SDA/MAPA nº 864/2021, o descumprimento das exigências sobre insensibilização e manejo humanitário pode levar a processos administrativos e sanções de natureza cível ou penal cabíveis, aplicáveis pelo serviço oficial de inspeção.

Recentemente, o MAPA por meio da Portaria SDA/MAPA nº 864, de 31 de julho de 2023 alterou e atualizou acima, mantendo os dispositivos relativos aos métodos de insensibilização autorizados e reforçando os critérios de bem-estar animal durante o pré-abate.

No Anexo II da Portaria n° 210, de 10 de novembro de 1998, no seu item 4 que trata da

insensibilização e sangria, esta "deve ocorrer em instalação própria e exclusiva, denominada "área de sangria", voltada para a plataforma de recepção das aves, com paredes e teto totalmente impermeabilizados". A sangria deve ser feita com as aves contidas pelos pés em ganchos, apoiados em trilho aéreo mecanizado, de modo a garantir a movimentação adequada das aves durante todo o processo. As aves, já insensibilizadas, devem ser conduzidas suspensas pela linha aérea ao longo do corredor, onde será realizada a secção dos principais vasos sanguíneos da região cervical, promovendo o escoamento do sangue por gravidade.

De acordo com o item 4.2.4 da Portaria nº 210/1998, no processo de sangria, o sangue deve ser recolhido na calha de sangria (inoxidável ou alvenaria), com declividade acentuada em direção aos pontos coletores. Esse sangue deve ser escoado e destinado de maneira controlada, permitindo que as etapas subsequentes ocorram de forma contínua, sem interrupções ou acúmulo para garantir a higiene e o fluxo sanitário, no máximo 1 minuto após a insensibilização, garantindo que as aves sejam sangradas antes que recuperem a sensibilidade, requisitos obrigatórios de fundamentado no Art. 114 do RIISPOA (Brasil, 2017) e item 6 da Instrução Normativa SDA n° 3, de 17 de janeiro de 2000 (Brasil, 2000).

Durante a sangria é importante que o coração esteja em atividade, impulsionando e facilitando a saída do sangue para o exterior. A legislação brasileira determina no item 4.2.2 da Portaria N° 210/1998, que o comprimento da área ou túnel de sangria deve permitir que a ave percorra o espaço que corresponda ao tempo mínimo exigido para uma sangria completa (~ 3 minutos) antes de qualquer outra operação (Brasil, 1998).

Nos diversos setores de um abatedouro as paredes devem ser azulejadas até a altura do forro e piso ser em material impermeável para garantir o escoamento eficiente da água com a inclinação recomendada entre 1,5% e 2% (equivalente a ~1,5 a 2,0 cm de altura a cada 1 metro de piso), de maneira a permitir drenagem adequada sem causar escorregamentos excessivos, atender às exigências sanitárias para indústrias de alimentos e facilitar a limpeza e evita acúmulo de água e resíduos orgânicos. Isto está estabelecido pela Portaria MAPA N° 210, de 10 de novembro de 1998, dispõe sobre a instalação de pisos em estabelecimentos de produtos de origem animal e institui que o piso deve ser construído com material impermeável, antiderrapante e com declividade de 1,5 % a 2 % em direção às canaletas coletoras, garantindo bom escoamento de águas residuais.

1.3. ESCALDAGEM E DEPENAGEM

Na área ou setor de escaldagem e depenagem tem-se por objetivo umedecer e soltar as penas, facilitando a remoção (ao desnaturar a estrutura proteica dos folículos), após a sangria, por meio da imersão das aves em água aquecida a 52 ^{o}C, de acordo com o PAC N° 12 (RIISPOA) que estabelece uma temperatura ideal nas operações evitando a escaldagem excessiva. Nos abatedouros de frango há a exigência legal da instalação de hidrômetro para controle do volume da água consumida, de no mínimo 1,5 litros por carcaça, quando se tratar de pré-resfriamento por imersão em água (item 4.4.19.1 da Portaria n° 210/1998).

De acordo com o Art. 277 item IV do RIISPOA (Brasil, 2017), a carcaça deve ser desprovida de penas, facultando-se a retirada de pés, pescoço, cabeça, rins, e órgãos reprodutores em aves que não atingiram a maturidade sexual.

Na escaldagem, as carcaças podem ser imersas em água quente por aproximadamente 1 a 3,5 minutos, a depender do tipo de escaldagem necessária. De maneira geral, para uma escaldagem leve recomenda-se uma temperatura entre 52 e 54 °C para aves de pele amarela (com a cutícula intacta) e temperaturas médias entre 55 e 57 °C ou intensas entre 54 e 60 °C para aves de pele branca (com a cutícula removida), a fim de obter a cor desejada (Johnson, 2018).

Entretanto, na legislação brasileira não há uma temperatura específica de escaldagem e depenagem (°C) nem tempo explicitamente estabelecidos por lei federal aplicável a abatedouros de aves. O que a Portaria MAPA nº 210/1998, que regula inspeção e operações de abate, estabelece é que a escaldagem deve ser executada logo após a sangria sob "condições definidas de temperatura e tempo, ajustados às características das aves em processamento", ou seja, tanto temperatura quanto tempo devem ser controlados de acordo com o tipo de ave e finalidade sanitária, mas sem fixar valores rígidos.

A escaldagem é essencial para soltar as penas sem danificar a pele ou reduzir a qualidade da carcaça. Assim, temperaturas demasiadamente altas ou exposição da carcaça a tempo excessivo podem causar danos à pele e aumentar contaminações. Além disso, condições inadequadas dificultam a depenagem.

Sams & McKee (Food Science Reference Module) — descrevem que temperaturas variando entre 50 e 53 °C por aproximadamente 120 segundos (escaldagem leve) reduzem danos à pele ao soltar penas, enquanto temperaturas mais altas por um tempo mais curto (escaldagem pesada) removem mais facilmente as penas, porém afetam a pele e podem resultar em danos e alterações na aparência da pele.

Por isso, a temperatura de escaldagem precisa ser monitorada: abaixo de 50 °C pode levar à contaminação bacteriana ou à remoção ineficiente das penas. Em contrapartida, a escaldagem intensa pode cozinhar a carne do peito, cuja pele é muito fina, resultando em listras na carne, conhecidas como listras de tigre (Schilling; Vizzier-Thaxton; Alvarado, 2014).

Portanto, o controle adequado de tempo e temperatura na escaldagem são essenciais para garantir eficiência na depenagem e preservar a integridade da pele do frango. Falhas nesse processo podem resultar em danos à carcaça e prejuízos à qualidade final do produto, como a condenação da carcaça. De acordo com o Art. 178 do RIISPOA (Brasil, 2017), carcaças e órgãos que apresentem lesões mecânicas extensas, incluídas as decorrentes de escaldagem excessiva, devem ser condenados.

De acordo com o Regulamento Técnico de Inspeção de Aves, Portaria MAPA nº 210, de 01 de janeiro de 1998, em seus dispositivos, estabelece que a escaldagem das aves no abatedouro seja realizada logo após a sangria, sob condições definidas de tempo e temperatura, adequadas às características das aves (frango, galinha, galo, peru, etc.) e que o tanque de escaldagem (inoxidável, proibindo-se o uso de qualquer outro material impermeabilizante nas suas superfícies internas) disponha de sistema de controle de temperatura e renovação contínua de água, evidenciando a importância do controle desses parâmetros para a eficiência da depenagem e preservação da qualidade higiênico-sanitária.

A Portaria MAPA nº 210/1998 também determina que o tanque de escaldagem deve ter sistema de controle de temperatura e renovação contínua de água, reforçando a importância de manter corretamente o tempo e a temperatura desse processo.

Investigações recentes têm se concentrado na redução dos custos operacionais, na

facilitação da limpeza dos tanques de escaldagem e, principalmente, na redução da contaminação microbiana das carcaças. Pesquisas também têm sido realizadas sobre sistemas de escaldagem com ar quente (Barker; Lankhaar; Stals, 2004).

Seguindo o fluxo, o processo de depenagem pode acontecer a seco; em água previamente aquecida e com renovação contínua, após escaldagem, ou por qualquer outro processo autorizado pelo Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal – DIPOA. de acordo com o Art. 115 do RIISPOA (Brasil, 2017).

As aves devem ser conduzidas às máquinas depenadeiras, onde são retiradas todas as penas. A legislação brasileira de inspeção de produtos de origem animal, não define os modelos comerciais específicos de depenadeiras, mas define as características construtivas e operacionais que garantam eficiência na remoção das penas e higiene do processo de abate. Estas máquinas devem ser construídas com material resistente, ser de fácil higienização de modo que permita a limpeza e a sanitização frequentes para evitar contaminação da carcaça, possuir dedos de borracha apropriados para uso alimentar e funcionar em fluxo contínuo da linha de abate.

Existem três tipos de depenadeiras amplamente adotadas na indústria de abate reconhecidos e em uso no país: a de discos com dedos de borracha – rotativa ou linear (tipo mais utilizado em frigoríficos industriais), a de cilindros ou rolos e a de tambor rotativo. Todas devem atender aos requisitos sanitários previstos no Decreto nº 9.013/2017 (Brasil, 2017) e nos manuais do MAPA.

Após a depenagem as penas devem ser transportadas por uma canaleta coletora para fábrica de farinhas e óleos (FFO) ou graxaria com o auxílio de água corrente. Ao sair das depenadoras retira-se manualmente o resíduo de penas das aves de acordo com o que regulamenta o PAC N° 10 (RIISPOA) que normatiza os procedimentos sanitários operacionais da empresa.

A partir daí, o frango deve, então, ser pendurado em uma nória de evisceração pelo pescoço para que tenham os pés são imersos em tanque com água a uma temperatura entre 80 e 90 °C por, aproximadamente, cinco segundos, como descrito no PAC N° 12 (RIISPOA). Em seguida, os pés passam por um depilador de patas para retirada das cutículas.

Com relação aos equipamentos, a normativa brasileira especifica que escaldadores, depenadeiras, calhas de evisceração, pré-resfriadores, tanques, esteiras transportadoras (equipamentos fixos), entre outros, devam ser instalados a no mínimo 1,20 m de afastamento das paredes e a 0,30 cm do piso, conforme a Portaria MAPA N° 210/1998 (item 2).

1.4. EVISCERAÇÃO

O setor de evisceração é responsável pela retirada das vísceras após a depenagem e toalete inicial, de forma higiênica e controlada, visando evitar a contaminação da carcaça. Esta etapa exige precisão operacional e monitoramento constante do controle de qualidade. Falhas no processo podem comprometer a segurança do alimento e resultar em condenações de carcaça.

A evisceração consiste na remoção das vísceras (conteúdo do trato digestivo, órgãos viscerais etc.) após a sangria e a depenagem, de modo a obter uma carcaça interna limpa e segura para inspeção e processamento subsequente.

Ao entrar na sala de evisceração a ave deve receber um banho em chuveiro de aspersão para retirar alguns resíduos de penas e outras sujeiras oriundas da depenagem por, aproximadamente, dois segundos. Finalizado o banho, é realizado um corte transversal com lâmina de aço inox na altura do papo. O processo segue com a pendura da ave no posicionamento pelos pés e pescoço, facilitando a exposição e a remoção da cloaca com o extrator de cloaca.

Em seguida, com o auxílio de uma faca, é feita uma incisão transversal na região abdominal da ave, iniciando-se a exposição manual das vísceras abdominais. Antes da separação das vísceras comestíveis o frango passa por avaliação físico-sanitária pelos funcionários do Serviço de Inspeção Federal, que avaliam a carcaça. Se aprovada na inspeção, a evisceração continua com a retirada e separação das vísceras comestíveis, primeiramente o coração, seguido do fígado, e por fim aparelho digestivo: papo, moela e intestinos. Cada miúdo é encaminhado individualmente, via calha, para uma caixa plástica de cor branca.

As vísceras não comestíveis devem ser lançadas diretamente na calha de evisceração e as comestíveis, inclusive pés e pescoço com ou sem cabeça, devem ser depositadas em recipientes (aço inoxidável, material plástico ou similar), após previamente preparadas e lavadas.

A Portaria MAPA N° 210/1998 regulamenta a evisceração como componente crítico da linha de produção de aves sob inspeção. As vísceras removidas devem ser segregadas, acondicionadas e identificadas adequadamente para inspeção — para detecção de enfermidades ou condição que torne a carcaça ou partes impróprias para consumo (sendo descartadas) — ou aproveitamento conforme regras sanitárias de órgãos competentes. As partes ou órgãos que apresentem alterações incompatíveis com o padrão de inocuidade ou sanidade serão retirados, descartados ou tratados conforme normas vigentes (Sistema de Inspeção Federal, Estadual ou Municipal). Em caso de aprovação, a evisceração continua com a retirada e separação das vísceras comestíveis na sequência: coração, seguido do fígado e por fim o papo, moela e intestinos (sistema digestivo). O trato digestório segue para uma máquina que irá limpar as moelas para a retirada de ração com jatos de água e, em seguida, a separação dos intestinos.

Em seguida, procede-se a remoção extração por sucção ou manualmente, dos pulmões e dos rins (vísceras não comestíveis). Nesse momento as carcaças são submetidas a uma nova vistoria por funcionários da empresa, conforme descrito na Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) especificamente no segmento de Pontos Críticos de Controle - PCC 1B (biológico) do Programa de Autocontrole (PAC) N° 14, para controle de qualidade e verificação de contaminações por extravasamento do suco biliar ou do conteúdo do papo e resíduos de fezes que possam indicar a presença de bactérias gram negativas do tipo *Salmonella* spp e *Escherichia coli*.

Para tanto, a manipulação das vísceras deve ser feita por trabalhadores treinados e em conformidade com os procedimentos de controle higiênico, inclusive com uso de proteção individual adequada.

Neste setor, deve existir um esboço (*layout*) que facilite um fluxo contínuo de produção, posicionado antes da etapa de resfriamento das carcaças e sem cruzamento entre áreas sujas, evitando retornos, acúmulo ou contaminação cruzada e limpas entre aves e operadores. Assim, na sala de evisceração a trilhagem aérea deve guardar a distância mínima de 0,30 cm das colunas ou paredes e a calha de evisceração deve estar afastada das paredes a pelo menos 2,0 m na lateral em que se posicionam os funcionários e a área

de inspeção final, e 1 m na lateral oposta quando nesta não houver manipulação.

Caso a carcaça apresente algum resíduo, ela é imediatamente retirada da linha de produção para remoção da parte contaminada, feito a descontaminação pode seguir para a próxima etapa: a degola.

A carcaça deve ser degolada por lâmina em disco. Nesse momento há uma classificação da carcaça para determinar se será destinada a galeto ou embalada sem os miúdos. O pescoço e a cabeça devem ser retirados com tesoura apropriada para essa finalidade e, em seguida, a nória se eleva conduzindo a carcaça para o pré-resfriamento localizado na sala de embalagem. Segundo o Art. 278 item III da Portaria n° 9.013/2017 e Portaria n° 210/1998, os miúdos são compostos por fígado (sem vesícula biliar), coração (sem o saco pericárdio) e moela sem o revestimento interno.

Após a evisceração a lavagem das carcaças deve ser feita de acordo com as boas práticas higiênicas e o ambiente deve ser mantido limpo.

Todos os equipamentos utilizados na evisceração devem ser projetados para permitir a remoção completa e cuidadosa das vísceras, sem rupturas desnecessárias de órgãos ou conteúdo intestinal para reduzir o risco de contaminação física e biológica. Assim, todas as superfícies devem ser lisas, de fácil limpeza e desinfecção e higienizadas periodicamente durante a operação, conforme critérios do serviço de inspeção oficial.

A Portaria que aprova o Regulamento Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiênico-Sanitária de Carne de Aves (Portaria MAPA N° 210/1998) aponta cinco pontos críticos no setor de evisceração, a saber: a prevenção de contaminação fecal; a integridade da carcaça; a correspondência carcaça-vísceras; as condições estruturais sanitárias adequadas e a possibilidade de inspeção oficial contínua.

1.5. PRÉ-RESFRIAMENTO (PRÉ-CHILLER E CHILLER)

De acordo com a Portaria MAPA n° 210/1998, o pré-resfriamento é o processo de rebaixamento da temperatura das carcaças imediatamente após a evisceração e lavagem, realizado por imersão em água gelada e/ou água e gelo ou passagem por túnel de resfriamento.

O setor de pré-resfriamento é composto pelo *Pré-chiller* e o *Chiller* (resfriadores contínuos), tanques com temperatura controlada, dotados de sistema de renovação de água constante e borbulho. Além disso, o monitoramento de tempo, temperatura e cloração é essencial para garantir a segurança do produto: a água do pré-resfriamento deve apresentar potabilidade, não sendo permitida sua recirculação.

Para o pré-resfriamento, a nória é elevada para que a carcaça seja conduzida pelo trilho ao corta-patas de lâmina de disco que fica acima do pré-chiller. Após o corte das patas, a carcaça cai no pré-chiller iniciando-se o pré-resfriamento, permanecendo no pré-chiller por, aproximadamente, 20 minutos, sendo em seguida encaminhadas para o chiller por uma rosca sem fim existente dentro do tanque.

A temperatura da água do sistema de resfriamento deve se dar a uma temperatura entre 0 °C e 4 ºC (chiller) para carcaças, cortes ou recortes e miúdos com tolerância de 1,0 °C aferido no interior da peça. Inclusive, dentre os equipamentos descritos na Portaria n° 210/1998 está o termômetro para controle de temperatura. No processo de congelamento a temperatura não pode ser maior que -12 °C, tolerando uma variação de até 2 °C no interior das peças (carcaça, cortes, recortes, miúdos ou derivados) (Brasil,

1998).

No chiller as carcaças devem permanecer por 25 minutos a uma temperatura de 4 °C. Esse processo de redução rápida da temperatura logo após a evisceração em imersão em água refrigerada, auxilia no controle microbiológico e na preservação da qualidade da carne. A legislação orienta para que a renovação de água seja constante e em sentido contrário à movimentação das carcaças, na proporção mínima de 1,5 litros por carcaça no primeiro estágio e 1,0 litro no último estágio, o que deve ocorrer na proporção de 8% de absorção de água em relação ao peso inicial da carcaça, conforme o PAC N° 17, que trata do Programa de Prevenção e Controle da Adição de Água aos Produtos (PPCAAP).

Semelhante ao empregado nas carcaças, os miúdos passam pelo processo de resfriamento utilizando-se um litro e meio de água por quilo de miúdo, que ocorre no chiller dos miúdos ou mini chiller. No ponto de saída as carcaças e os miúdos devem apresentar temperatura igual ou inferior a 7 °C quando a carcaça for destinada a cortes. Quando a carcaça for destinada à comercialização na forma de frango inteiro deve apresentar temperatura entre 7 °C e 10 °C, como descrito no programa de controle de temperatura, PAC N° 12. A carcaça ao sair do chiller quando apresentar temperatura superior a 10 °C devem ser submetidas a análises físico-químicas.

Após saírem do chiller, em uma nória as carcaças são depositadas sobre uma mesa onde passarão por inspeção visual. Caso sejam verificados danos ou ausência de partes, as carcaças são penduradas pelo dorso e direcionadas para a sala de corte, cujos cortes com fraturas ou contusões receberão tratamentos específicos para que não sejam comercializados dessa forma, como exemplo: corte desossado e/ou elaboração de carne mecanicamente separada – CMS. Segundo Art. 286 do RIISPOA (Brasil, 2018), a CMS é obtida pela remoção da carne dos ossos que a sustentam, provocando perda ou modificação de suas fibras musculares.

Em não apresentando danos físicos que comprometam a qualidade ou integridade das carcaças, estas são penduradas na nória pela coxa e encaminhadas à sala de embalagem e os miúdos para a sala de miúdos, ambiente destinado ao processamento e classificação das vísceras comestíveis, como fígado, coração e moela, onde serão preparados e embalados como pertences da carcaça.

A realização das operações de espostejamento ou cortes e desossa das partes consideradas aptas ao consumo, não podem ser realizadas na área de abate, a qual não está legalmente regulamentada e, portanto, considerada inapropriada para realização dos cortes, conforme previsto no Manual de Procedimentos de Inspeção e Fiscalização de Aves e Derivados em Estabelecimentos sob Inspeção Federal (SIF) (Brasil, 2021).

1.6. SALAS DE CORTES E DE EMBALAGEM

A sala de corte é destinada à desossa e ao fracionamento das carcaças em cortes comerciais e a temperatura deve ser controlada, não podendo exceder 19 °C.

Nesse ambiente ocorre a desintegração manual das carcaças. Inicialmente são retiradas as asas e em seguida é feito um corte longitudinal na região lombar para facilitar a retirada das coxas e sobrecoxas. Logo após, o dorso é separado do tórax para a retirada do peito. Para a retirada do filé de peito é extraída apenas a musculatura desta peça. Ao final desse processo sobra apenas a “canjinha” composta por dorso com pescoço e pela porção dorsal localizada acima da cloaca, tecnicamente denominado uropígio, popularmente conhecida

como micula ou ainda sobrecu. Em esteira de lona plástica os cortes seguem separadamente e nesse percurso as partes são retiradas da esteira e pesadas conforme a quantidade estabelecida.

Na sala de embalagem a temperatura também deve ser controlada, mantida a 12 °C. Nesse ambiente, ambas as carcaças, resfriadas e congeladas, recebem em seu interior um pequeno saco de miúdos contendo pés, fígado e moela. A diferença é que nas carcaças congeladas, no saco de miúdos, é acrescentada a cabeça.

Nessa sala as carcaças inteiras resfriadas recebem a embalagem primária (sacos plásticos de poliolefínico – atóxico e inodoro, de alta transparência, resistência a rasgos e excelente capacidade de vedação), seguida da embalagem secundária (caixas de papelão). O processo de embalagem ocorre continuamente, com as carcaças seguindo em ganchos sob trilhos aéreos e cujo percurso é acompanhado por uma calha coletora de água residual proveniente do gotejamento das carcaças.

As carcaças são recolhidas da linha de processamento manualmente e introduzidas individualmente nas embalagens primárias com auxílio de um funil de inox fixado em mesa de inox dotada de esteira de lona plástica. Esta esteira conduz o produto ao grampeador a vácuo, vedando a embalagem com um anel metálico, ou em bandejas de isopor revestida com plástico filme e, em seguida, encaminha para a embalagem secundária e pesagem. O peso padrão das caixas é de 20 + 0,02 kg. Na sequência, as caixas são colocadas em carrinhos com capacidade de 40 caixas e seguem para os túneis de congelamento.

Anexa à sala de embalagens, está a sala destinada à embalagem de miúdos onde se encontra a máquina de enchimento para embalar miúdo. A máquina de enchimento apresenta esteira com copos de aço inox para deposição dos miúdos (moela, fígado, pés e cabeça) que são depositados manualmente e introduzidos em sacos de papel bobina.

A sala de armazenamento de embalagens deve comunicar-se com a área de produção por uma janela que permita apenas a passagem das embalagens.

1.7. CONGELAMENTO E ESTOCAGEM

Os túneis de refrigeração são responsáveis pela rápida redução da temperatura dos produtos após o processamento, garantindo a manutenção da cadeia do frio. Esse procedimento é essencial para o controle do crescimento microbiano e a preservação da qualidade da carne. O monitoramento contínuo da temperatura e do tempo de permanência assegura a segurança e a conformidade do produto.

Os produtos congelados ao saírem da sala de embalagem são introduzidos nos túneis de congelamento por 12 a 14 horas a uma temperatura de -26 °C e os produtos resfriados permanecem a essa temperatura apenas por duas a cinco horas para promover o choque térmico.

Ao final das 14 horas para os produtos congelados ou das cinco horas para os resfriados, o carrinho é retirado, e as caixas são revestidas com plástico à base de metaloceno termoencolhível e de alta densidade (maior resistência mecânica à tração e/ou impacto e melhor selagem) e colocadas sobre paletes de madeira permanecendo aí até serem encaminhados para a câmara de estocagem. As carcaças depositadas nas câmaras de resfriamento, deverão apresentar, temperatura entre -1 °C e 4 °C com variação de 1 °C. As carcaças congeladas deverão apresentar na intimidade muscular, temperatura igual ou

inferior a -12 °C com variação máxima de 2 °C. A estocagem de aves congeladas deve ser feita em câmaras próprias, com temperatura abaixo de -18 °C.

De acordo com a Portaria MAPA nº 155, de 17 de agosto de 2016 o Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, alterou a Portaria MAPA - 711, de 01/11/1995, estabelecendo que "as carnes devem ser congeladas e atingir, em seu interior, pelo menos a temperatura de doze graus centígrados negativos em túnel de congelamento e ser mantidas a esta temperatura durante o armazenamento".

Durante o armazenamento o produto deve permanecer estocado nas câmaras de acordo com a validade. Apesar da legislação brasileira não estabelecer prazos fixos de validade para carnes de aves congeladas ou resfriadas, a definição é feita com base em critérios técnico-científicos e condições de armazenamento e a responsabilidade do estabelecimento dessa validade é delegada à empresa produtora (BRASIL, 2017). Entretanto, o prazo de validade deve constar no rótulo conforme Art. 31 item VI da Resolução RDC n° 429, de 8 de outubro de 2020 – Rotulagem Nutricional dos Alimentos Embalados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária Animal – ANVISA (Brasil, 2020).

A carne de frango é altamente perecível, com vida útil variando entre quatro e 10 dias sob refrigeração, dependendo do grau de processamento post-mortem, podendo chegar a 10 ou 12 dias se mantida sob controle rigoroso ou atmosfera modificada. Com base na literatura científica e nas práticas da indústria frigorífica, os produtos resfriados devem ser consumidos em até 12 dias, por essa razão são encaminhados imediatamente ao mercado. Produtos congelados que apresentam validade de um ano podem ser estocados por um período de até nove a 12 meses se mantidos em temperatura de -18 °C, segundo Díaz et al. (2022).

Para assegurar a manutenção da cadeia do frio e a estabilidade microbiológica dos alimentos visando garantir a adequada conservação da qualidade dos produtos e da segurança alimentar, o Art. 70 do RIISPOA (Brasil 2017) regulamenta que as câmaras frigoríficas, antecâmaras, túneis de congelamento e equipamentos resfriadores e congeladores devem ser regularmente higienizados.

1.8. EXPEDIÇÃO

O setor de expedição é responsável pelo armazenamento final, conferência e carregamento dos produtos acabados para distribuição e deve estar incluída nos Programa de Auto Controle (BPF, PPHO, APPCC). Nessa etapa é fundamental que se mantenha um fluxo unidirecional, a cadeia do frio e a integridade das embalagens. O controle de qualidade verifica a conformidade dos produtos antes da liberação para o transporte.

Na expedição as plataformas de embarque devem ser cobertas, pavimentadas e estarem isoladas do meio externo por portas de isopaineis e cortinas de silicone, servindo como isolante térmico, para evitar a elevação da temperatura desse ambiente, portanto deve ser controlada. O controle sanitário também se faz necessário para evitar contaminação cruzada e sua exposição ao ambiente externo, protegendo os produtos contra poeira, insetos e intempéries.

Os produtos a serem expedidos, devem estar identificados e rotulados acompanhados da documentação sanitária, necessária para o controle e rastreabilidade dos lotes. Além disso, o Decreto n° 9.013/2017 (Brasil, 2017) em seu Art. 49, proíbe que o

estabelecimento de abate opere acima da capacidade, pois teria como impacto imediato a geração de acúmulo de produtos. Este Decreto até permite a armazenagem na área de expedição desde que não comprometa a qualidade e se mantenha a temperatura adequada dos produtos, conforme Art. 50 (Brasil, 2017).

O escoamento dos produtos estocados nas câmaras deve ser feito em caminhões frigoríficos com temperatura controlada entre -7 °C e -12 °C, ou mais frio.

2. BIOSSEGURIDADE, HIGIENIZAÇÃO E CONTROLE SANITÁRIO

2.1. ESTRUTURA FÍSICA

As exigências estruturais e operacionais em abatedouros de aves são necessárias para garantir a conservação, a qualidade e a segurança microbiológica das carcaças e produtos. Assim, as edificações do abatedouro são planejadas com o objetivo de promover a higiene ambiental e a qualidade dos produtos.

Com base nisso, a Portaria n° 210/1998 detalha a aplicação prática no abate de aves e o RIISPOA (Decreto n° 9.013/2017) define os princípios gerais obrigatórios, trazendo as especificações básicas de infraestrutura, detalhadamente e de forma complementar, que um estabelecimento de produtos de origem animal deve dispor, as quais são elencadas a seguir:

- *Localização e área externa:* o estabelecimento deve estar em local livre de fontes de contaminação (lixões, esgotos, poeira excessiva), com facilidade de acesso e a área externa deve possuir pavimentação adequada, drenagem eficiente e controle de poeira e lama.
- *Layout, fluxo operacional e setorização das áreas*: o fluxo deve ser contínuo e unidirecional sem cruzamento entre as áreas suja (recepção, abate) e limpa (processamento, embalagem). Estas áreas devem ter obrigatoriamente barreiras físicas ou funcionais entre etapas de diferentes níveis sanitários. As áreas obrigatórias são a recepção de aves; a pendura; a insensibilização e a sangria; a escaldagem e depenagem; a evisceração; pré-resfriamento/resfriamento; câmaras frigoríficas e expedição.
- *Pé direito*: é a altura livre efetiva entre o piso acabado e o teto (ou forro) de um ambiente, considerando vigas, tubulações e equipamentos suspensos. A legislação brasileira prevê que todas as dependências do abate deverão ter "pé direito" mínimo de 4,00 m. Entretanto, se as dependências onde manipulam os produtos comestíveis forem climatizadas e as operações realizadas nessas dependências permitirem, o "pé direito" poderá ser reduzido para 3,00 m.
- *Paredes, portas e divisórias*: as paredes e divisórias devem ser lisas, impermeáveis (azulejadas até a altura do forro), de fácil higienização, de cor clara para facilitar a inspeção e conter cantos arredondados para evitar acúmulo de sujidades. A área suja não pode se comunicar com a área limpa, exceto por janelas que permitam apenas a passagem da nória transportadora de carcaças. Essas nórias transportadoras devem ser providas de uma calha (inox) para coleta de fluidos resultante do gotejamento do produto.

A Portaria n° 210/1998 especifica que as portas de acesso de pessoal e de circulação interna devem ser do tipo vaivém, com largura mínima de 1,20 m e com visor de tela ou

vidro, dotadas ou não de cortinas de ar, a critério da Inspeção Federal.

- *Tetos e forros*: os tetos e forros devem ser construídos em laje de concreto ou outro material liso e resistente à umidade e vapores (condensação). Devem impedir o acúmulo de sujeira, portanto, laváveis e de fácil manutenção. Nas dependências onde as carcaças estiverem sendo manipuladas e que ainda não receberam a proteção da embalagem, a Portaria n° 210/1998 não permite a pintura do forro.
- *Pisos*: devem ser impermeáveis, antiderrapantes, de material resistente e de fácil limpeza, apresentando inclinação adequada e sistema de drenagem eficiente.
- *Iluminação*: o sistema de iluminação deve ser do tipo "luz fria" e as luminárias devem apresentar proteção contra estilhaçamento e serem uniformes e em quantidades suficientes que permitam uma inspeção sanitária adequada.
- *Ventilação*: segundo estas normativas, a ventilação pode ser natural ou artificial, mas devem ser eficientes no sentido de evitar calor excessivo, condensação, odores e barrar entrada de contaminantes.
- *Abastecimento de água*: a água deve ser potável e ter pressão adequada, exigindo-se a separação dos sistemas de água potável e não potável (quando houver). O consumo médio de água em abatedouros de aves é estimado em 30 litros por ave abatida, considerando todas as etapas do processo. Mediante aprovação prévia do Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal – DIPOA, a norma flexibiliza um volume inferior a esse valor, desde que sejam mantidos os padrões tecnológicos e atendidos os requisitos higiênico-sanitários.
- *Esgotamento e drenagem*: este sistema deve evitar refluxo, impedir contaminação e os efluentes devem ter destino e tratamento adequado. Se não tratados corretamente, podem causar sérios danos à saúde pública e ao meio ambiente, assim, a legislação ambiental brasileira é rigorosa, estabelecendo diretrizes e padrões para o lançamento de efluentes em corpos d'água, conforme Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (Brasil, 2011).
- *Sanitários e vestiários*: estas instalações não podem ter comunicação direta com as áreas de produção e devem ser separadas por sexo. A exigência legal é que sejam disponibilizados lavatórios com acionamento não manual, sabão, papel toalha e área com separação da roupa comum de uniformes de trabalho, para evitar a contaminação e garantir a qualidade sanitária dos produtos. As dependências auxiliares, não industriais (vestiários e refeitório, sede da Inspeção Federal, escritórios e depósito de produtos químicos), devem ser construídas em prédios separados da área de abate, preferencialmente juntos ou próximos à entrada principal do abatedouro.

Ademais, o hall de entrada da área de produção e da expedição devem ser dotados com barreiras sanitárias como cortina de ar sobre a porta de entrada, além de torneiras com acionamento mecânico para lavagem de mãos, lavador de botas, saboneteiras para sabonete líquido, porta papel toalha e lixeira acionada com pedal.

Em resumo, todos os setores devem ser dotados de iluminação e ventilação adequadas, canaletas coletoras de resíduos fluidos, tetos, paredes e pisos laváveis com suave inclinação para facilitar uma adequada drenagem da água.

2.2. EQUIPAMENTOS E UTENSÍLIOS

Os equipamentos referem-se à maquinaria e demais utensílios utilizados no processo de abate e de acordo com o item 2 da Portaria n° 210/1998.

Os equipamentos fixos do abate de aves tais como escaldadores, depenadeiras, calhas de evisceração e esteiras devem ser instalados de forma a permitir fácil higienização dos próprios equipamentos e das áreas ao redor e devem estar afastados a 1,20 m das paredes, a 0,30 m do piso. A trilhagem aérea respeitar a distância mínima de 0,30 m de paredes ou colunas, exceto a calha de evisceração que deve estar a uma distância maior ou igual a 2 m na lateral onde há manipulação e inspeção e maior ou igual a 1 m na lateral onde não há manipulação.

Os materiais dos equipamentos devem ser atóxicos, resistentes à corrosão (em material inoxidável) e de fácil higienização. Madeira e materiais porosos não são permitidos, visando-se assegurar adequação dos materiais que entram em contato com alimentos, tais como as mesas, calhas, carrinhos e outros continentes, ganchos, além de facas e chairas (com cabo plástico na cor branca). As tábuas devem ser de plástico na cor branca.

Os equipamentos e utensílios utilizados na industrialização de aves devem ser, preferencialmente, de material metálico, especialmente aço inoxidável (preferencial). Ligas de alumínio ou outros materiais aprovados pelo Serviço de Inspeção Federal – SIF. Também é permitido o uso de plásticos adequados para contato com alimentos, no caso de caixas e bandejas. Recipientes de alvenaria e de madeira são proibidos, pois dentre os requisitos sanitários estão que as superfícies devem ser lisas, não porosas e de fácil higienização. Isso inclui as soldas e juntas.

O objetivo é garantir resistência à corrosão, facilitar a limpeza e a higienização, prevenir a contaminação cruzada e a inspeção sanitária de modo a avalizar a segurança alimentar.

2.3. UNIFORMES E HIGIENE PESSOAL DO MANIPULADOR

A higiene pessoal e os hábitos higiênicos dos manipuladores são fundamentais para a prevenção de doenças de origem alimentar, sendo fonte de preocupação de saúde pública. Nesse sentido, o manipulador de alimentos constitui um elo crítico na ocorrência de contaminações, seja por práticas inadequadas de higiene ou por ser portador de microrganismos patogênicos, tornando indispensável a realização de treinamentos específicos em higiene e segurança alimentar.

Todos os manipuladores devem receber capacitação contínua sobre boas práticas de higiene pessoal e devem ser diariamente inspecionados quanto às condições higiênicas antes e após os intervalos do processo produtivo. A correta higienização das mãos e antebraços é considerada uma das principais medidas preventivas, devendo ser realizada antes da entrada na indústria, após o uso dos sanitários e sempre que necessário. Além disso, é obrigatório o cumprimento das normas sanitárias, o respeito ao fluxo de circulação interna para evitar contaminação cruzada e o uso de uniformes de cor clara, limpos e trocados diariamente, sendo vedada a circulação de colaboradores de áreas sujas em setores limpos.

Ao final de cada dia de trabalho o manipulador deve, portanto, depositar seu uniforme na lavanderia, constituída por duas salas que não se comunicam (área suja e área limpa). A primeira sala é para recepção de uniformes sujos e início do processo de lavagem em que cada setor de trabalho deposita seu uniforme separadamente em cestos receptores. Em

seguida são colocados na lavadora industrial seguindo uma sequência de lavagem: área de produção interna (evisceração, embalagem, corte e expedição); área externa (pendura); manutenção; graxaria.

Na lavagem de uniformes é permitido o uso de produtos tais como, detergente umectante; desinfetante para roupas hospitalares a base de hipoclorito de sódio; neutralizador líquido dos resíduos de cloro e alcalinidade em lavagem de roupas; amaciante pós-enxágue; aditivo alcalino para pré-lavagem e lavagem de roupas; detergente solvente para remoção de manchas em roupas (desengraxante e desengordurante).

Após a lavagem os uniformes devem ser encaminhados para a segunda sala, onde são introduzidos na centrífuga, para retirada do excesso de água, até serem encaminhados para a secadora industrial, onde são secos sem o contato com superfícies contaminantes. Ao final do processo de lavagem os uniformes devem ser armazenados em prateleiras identificadas por cada setor.

Visando minimizar os riscos de contaminação, os manipuladores de alimentos devem manter os uniformes em bom estado de conservação, não os utilizar fora da empresa, além de evitar portar objetos pessoais durante o trabalho. Também é exigida a manutenção de unhas curtas e limpas, cabelos totalmente cobertos, ausência de adornos, perfumes e barba inadequada, além da higienização de botas e passagem pelas barreiras sanitárias, aventais, mãos e antebraços em todas as situações necessárias, inclusive quando houver uso de luvas.

Condutas não higiênicas, como tossir, espirrar, cuspir, fumar em áreas de produção, realizar refeições fora do refeitório ou descartar lixo inadequadamente, são expressamente proibidas, garantindo, assim, a segurança sanitária dos produtos e a proteção da saúde do consumidor.

Toda essa preparação ocorre antes do abate e é monitorada pelo controle de qualidade para evitar quaisquer riscos de contaminação no produto. Após o monitoramento rigoroso dos funcionários eles são liberados para a entrada nos seus respectivos setores. Todo esse monitoramento também é feito de forma visual, diária e registrada em planilhas específicas, conforme o PAC 05.

2.4. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL - EPI

O trabalho realizado em um abatedouro expõe os manipuladores a situações que podem comprometer a integridade física e psicológica. Para amenizar esse problema a empresa é obrigada legalmente a disponibilizar uniforme completo (bata, calça, touca, máscaras, balaclava e botas de borracha) e acessórios de proteção para cada funcionário, que serão descritos adiante de acordo com a necessidade de cada setor.

- Na pendura: é necessário proteger os olhos com óculos de segurança transparente, máscara de proteção facial; luvas de proteção em couro de cano longo para os braços; luvas de pano, avental de silicone para não contaminar o uniforme (fezes).
- Sangria: é necessária a utilização de luvas de pano na mão direita para evitar desconforto causado pelo intenso uso da faca. Na mão esquerda utiliza-se luva de aço inoxidável para evitar cortes por manuseio de faca. Para proteger os olhos deve-se utilizar óculos de segurança transparente e para evitar contaminação do uniforme é obrigatório o uso de avental de silicone.

- Escalda: exige-se o uso do protetor auricular, devido ao barulho intenso e contínuo das depenadoras; luvas de látex e avental de silicone.
- Evisceração: é obrigatório o uso de luvas de aço inoxidável, avental de silicone, luvas plásticas e protetor auricular, devido ao barulho intenso e contínuo do extrator de cloaca e sugador de pulmões. Na legislação brasileira, a exposição ocupacional ao ruído é defina pela Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15) – Atividades e Operações Insalubres (Anexo 1 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente), não sendo permitida a exposição a níveis de ruído acima de 115 dB(A) para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos, conforme item 5 do Anexo I. Ambientes como: linhas de abate, escaldagem, depenagem, evisceração e corte automatizado frequentemente apresentam ruídos entre 85 e 100 dB(A). Legalmente, o manipulador pode ficar até 8h em 85 dB ou apenas por 1 hora se o ruído for 100 dB. Se a exposição for combinada, deve-se seguir a regra de somatório da NR-15.
- Embalagem: uso obrigatório de protetor auricular (barulho intenso e contínuo do grampeador), avental de silicone, luvas descartáveis e de látex.
- Corte: Faz-se necessária a utilização de moletom (baixa temperatura do ambiente), uso obrigatório de luvas de aço inoxidável, luvas plásticas e avental de silicone.
- Expedição: nesse ambiente a temperatura ambiente é abaixo de zero, portanto é obrigatório o uso de botas de couro para frigorífico, tocas de aquecimento, luvas de pano, blusas e calças térmicas de náilon e expirador dobrável.

2.5. SALA DE LAVAGEM E ARMAZENAMENTO DE CAIXAS

A higienização do estabelecimento deve ser realizada com base em um programa formal, contendo a descrição detalhada dos procedimentos, da frequência de execução, dos métodos de avaliação da eficiência e da especificação dos produtos químicos utilizados em cada.

O Decreto MAPA/SDA/DIPOA n° 9.013 de 2017 (Brasil, 2017), dispõe sobre a sanitização em indústrias que manipulam produtos de origem animal, tais como carnes, estabelecendo que a aplicação de agentes químicos e métodos físicos aplicados nas superfícies das instalações, dos equipamentos e dos utensílios só podem ser feitos mediante aprovação de órgão regulador da saúde, com objetivo de assegurar nível de higiene microbiologicamente aceitável.

As etapas do processo de limpeza e desinfecção contemplam na sequência: a pré-lavagem com água sob pressão para remoção de resíduos sólidos, remoção física com auxílio mecânico e/ou detergentes, lavagem para retirada de detergentes e sujidades e por fim, a desinfecção, quando necessária, sempre seguida de enxágue. Deve-se ter cuidado no manuseio de desinfetantes concentrados, pois podem pôr em risco à saúde quando em contato com mucosas oculares e nasais. A higienização completa não pode ocorrer na presença de produtos comestíveis e os produtos químicos utilizados devem ser registrados no Ministério da Saúde para ter uso autorizado pelo DIPOA (Portaria MAPA/SDA n° 210 de 10 de novembro de 1988).

A sala de lavagem de caixas é destinada à higienização e armazenamento das caixas plásticas utilizadas no transporte e acondicionamento dos produtos. Esse setor é essencial para prevenir contaminações cruzadas e garantir a segurança higiênico-

sanitária. O controle de qualidade deve monitorar a eficiência da lavagem, a concentração de produtos sanitizantes e as condições operacionais.

As caixas, após a lavagem, são encaminhadas para a sala de armazenamento de embalagens que comunica com a área de produção por uma janela que permite apenas a passagem das embalagens. Essa sala é provida apenas de uma janela para recepção de caixas sujas e uma pequena abertura para transporte de caixas limpas para o interior do abatedouro.

O processo de higienização deve ser padronizado, controlado e documentado, realizado em etapas sequenciais, de maneira segura para os operadores e os alimentos e eficaz na eliminação de contaminantes, garantindo a segurança sanitária do processo.

2.6. TRATAMENTO DE ÁGUA

A legislação brasileira normatiza a utilização de água em todos os estabelecimentos sob inspeção federal. O tratamento da água aparece de forma indireta (qualidade e controle) e direta (efluentes) nas normas.

O Regulamento Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiênico-Sanitária de Carnes de Aves (Portaria MAPA nº 210/1998) define um consumo médio de água (≈ 30 L/ave) e exige que seu uso seja adequado ao processo de abate e os efluentes sejam tratados antes do descarte. Água não potável pode ser utilizada apenas para fins específicos, quando não há contato com alimentos.

As Boas Práticas de Fabricação – BPF (Portaria MAPA nº 368/1997) determina que a água deve ser potável, em quantidade suficiente e ter um controle de qualidade contínuo, exigindo-se o controle microbiológico, a manutenção do sistema de abastecimento e a definição dos padrões de higiene na utilização da água.

O padrão de potabilidade da água para consumo humano é usado como referência para abatedouros, assim, a Portaria GM/MS nº 888/2021 define os padrões microbiológicos, físicos e químicos da água com relação aos limites de coliformes, turbidez, cloro residual e frequência de monitoramento.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 que trata do lançamento de efluentes, determina a necessidade de tratamento de águas residuais antes do descarte e dos padrões dessa água no meio ambiente.

2.7. LAVAGEM DO AMBIENTE

De acordo com a Portaria MAPA nº 210/1998, no item 6.8, a limpeza e sanitização de todo o abatedouro — abrangendo instalações, equipamentos e utensílios — devem estar organizadas em um programa específico, formalizado em um memorial descritivo. Esse documento deve detalhar, por setor, os procedimentos adotados, a frequência de execução, os critérios de avaliação da eficácia e a relação dos produtos químicos utilizados.

Nos intervalos operacionais como, parada para almoço e intervalo para troca do lote, é realizada a lavagem dos utensílios e superfícies de contato com água corrente, para retirar resíduos de abate. Após o fim das operações o ambiente e utensílios são higienizados com detergente alcalino clorado. Após a lavagem com detergente alcalino clorado utiliza-se um desinfetante à base de ácido peracético indicado para indústria alimentícia.

Os utensílios ao final do abate também devem ser lavados com detergente alcalino clorado e as botas dos manipuladores higienizadas com detergente alcalino clorado, disposto na barreira sanitária do *hall* de entrada.

2.8. TRATAMENTO DE RESÍDUOS

No abatedouro avícola é obrigatório que os resíduos de natureza líquida e sólida resultantes do abate sejam encaminhados à graxaria. Estes resíduos podem ser utilizados para fabricação de farinha de pena e vísceras e óleo de aves. A graxaria também recebe as carcaças e parte destas condenadas. Todo o resíduo, incluindo o sangue resultante da sangria, é encaminhado via canaleta, com o auxílio de água utilizada nos procedimentos.

– *Pena*

Ao chegar à graxaria a pena é prensada para retirada do excesso de líquido e introduzida juntamente com o sangue no digestor de pena. No digestor são colocadas penas, sangue e um antioxidante para que essa pena possa ser hidrolisada (a 100 °C por 40 minutos), permanecendo no digestor por uma hora a uma temperatura de 100 °C para promover a ressecagem. Ao sair do digestor a farinha de pena é encaminhada a secadora para retirada da umidade a uma temperatura de 250 a 270 °C por 20 minutos, sendo direcionada para o silo e ensacamento com peso padrão de 40 kg.

– *Vísceras*

As vísceras precisam passar por uma peneira para extração da água. Em seguida são colocadas no digestor de vísceras com adição de um antioxidante, permanecendo por 5 horas a uma temperatura de 100 °C. Ao final desse período o produto é removido do digestor e encaminhado para a prensa para extração do óleo, resultando apenas na farinha de vísceras de aves, a qual é embalada em sacos de 40 kg.

– *Óleo*

Após prensagem das vísceras, o óleo é encaminhado para o primeiro tanque de decantação; seguindo-se o bombeamento para um segundo tanque de decantação. Após a segunda decantação é direcionado ao filtro que retira o excesso de sólidos do óleo. Ao final, o filtrado é bombeado para um tanque de armazenamento que deve estar localizado na área externa da graxaria.

– *Água residual*

A água resultante dos procedimentos de higienização do setor de produção e da graxaria é encaminhada para a caixa de retenção de gordura. Essa caixa conta com uma estrutura que se movimenta lentamente para extração da gordura sobrenadante antes de ser lançada nas lagoas de tratamento. A extração é realizada através da diferença de densidade entre os materiais, onde o óleo que apresenta menor densidade que a água permanece na superfície, sendo separado com facilidade.

– *Tratamento de efluentes*

O tratamento de efluentes de abatedouros avícolas em lagoas biológicas aeradas tem como objetivo reduzir a carga orgânica, sólidos, patógenos e odores, permitindo que o efluente tratado possa ser reutilizado com segurança na fertirrigação.

Os efluentes gerados contêm alto teor de sangue e proteínas, microrganismos potencialmente patogênicos, sólidos suspensos, óleos e graxas, além de elementos

minerais como o nitrogênio e fósforo e, portanto, exigem tratamento eficiente antes do reuso.

O processo de tratamento conta com etapas em sistema de lagoas aeradas: tratamento preliminar para remoção de sólidos grosseiros (grades e peneiras, caixa de gordura e desarenação) para evitar sobrecarga nas lagoas; tratamento primário para remover sólidos sedimentáveis (decantação e remoção de lodo primário) para reduzir parte da matéria orgânica (sangue, gordura e proteína); lagoa aerada para tratamento biológico com introdução de oxigênio por aeradores mecânicos ou difusores, desenvolvimento de microrganismos aeróbios e degradação da matéria orgânica, se constituindo na etapa mais importante para redução significativa de Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, Demanda Química de Oxigênio – DQO e odores; lagoa de sedimentação (decantação secundária) para separação do lodo biológico formado, garantindo a clarificação do efluente; e, finalmente a lagoa de maturação (polimento) com objetivo de melhorar a qualidade final, reduzindo patógenos, estabilizando o efluente por ação da radiação solar.

No Brasil, o uso de efluente é regulado pela Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005 e Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011 e Normas estaduais ambientais e precisa atender critérios ambientais, tais como, ter baixa DBO, baixo teor de sólidos, ausência de patógenos em níveis críticos, controle de odores e monitoramento de nutrientes.

3. CONTROLE DE QUALIDADE

3.1. PROGRAMAS DE AUTOCONTROLE

Os Programas de Autocontrole – PAC fazem parte da Verificação Oficial de Elementos de Controle – VOEC e foram instituídos pelo Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal – DIPOA em 06 de maio de 2015 a partir do Decreto nº 8.444, (BRASIL, 2015) determinando que nos estabelecimentos que realizam atividades de abate a inspeção federal seja instalada em caráter permanente.

Posteriormente, a Norma Interna nº 02/DIPOA/SDA, de 06 de novembro de 2015, estabeleceu a frequência mínima de fiscalização em estabelecimentos registrados ou relacionados no SIF sujeitos à inspeção periódica (Brasil, 2015).

Em 08 de março de 2017, a Norma Interna nº 01/DIPOA/SDA estabelece que a competência da verificação oficial com base nos autocontroles é do serviço de inspeção federal local, e visa avaliar a implementação dos programas de autocontrole e o seu cumprimento por parte das empresas registradas (Brasil, 2017). Estes programas estabelecem medidas preventivas e corretivas, baseadas no Cálculo de Riscos estimado, para não conformidade operacional. Assim, devem apresentar uma descrição da não conformidade e as respectivas ações fiscais adotadas, quando couber.

Os Programas de Autocontrole incluem as Boas Práticas de Fabricação – BPF, a Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle – APPCC e os Procedimentos Padrão de Higiene Operacional – PPHO. Estes programas estão definidos no regulamento técnico sobre as condições higiênico-sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para estabelecimentos elaboradores industrializadores de alimentos (Portaria MAPA nº 368/1997); pela Portaria MAPA nº 46/1998 que estabelece obrigatoriedade de implantação de Sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle nos estabelecimentos com SIF, seguindo as diretrizes do Codex Alimentarius (coletânea de normas, códigos de conduta e diretrizes

internacionalmente reconhecidos, desenvolvidos pela FAO/OMS) e pelo Decreto n° 9.013/2017 que traz o Regulamento Industrial de Inspeção Sanitária de Produtos de Origem animal – RIISPOA, em cujo Art. 10 especifica que a verificação oficial é uma atividade de inspeção e no Art. 12 que trata da obrigatoriedade dos programas (Fernandes, 2020).

O controle de qualidade implantado em um abatedouro de aves tem como obrigação cumprir os rigorosos Programas de Autocontrole. Esses programas são elaborados pelo gerente do controle de qualidade baseados em normativas e portarias estabelecidas pelo Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA acima citadas, executados pelos auxiliares e avaliados pelo fiscal federal que tem como responsabilidade avaliar a implantação e a execução dos programas de autocontrole. Ao abatedouro avícola cabe garantir a qualidade dos processos, dos produtos produzidos e dos programas desenvolvidos, implantados, mantidos e monitorados pelos estabelecimentos, assegurando a qualidade higiênico sanitária de seus produtos.

Todos os documentos devem ser mantidos em sala específica destinada ao controle de qualidade à disposição para pronta fiscalização oficial e cada programa segue uma vertente que avalia se procedimentos empregados no processo de abate estão ou não em conformidade e estas avaliações devem registradas em tabelas específicas e arquivadas para serem vistoriadas por fiscais do Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal – DIPOA.

Os Programas de Autocontrole – PAC elaborados variam em função nível de inspeção ao qual o abatedouro avícola está submetido (SIF, SIE ou SIM) e todos os níveis incluem a exigência de controle higiênico-sanitário básico, tais como: higiene (BPF e PPHO); controle da água; controle de pragas e os registros operacionais.

No caso de estados e municípios pode haver variações normativas, mas estas devem estar alinhadas ao SIF, especialmente quando o estabelecimento adere ao Sistemas Brasileiro de Inspeção de Produtos e Insumos Agropecuários – SISBI-POA e Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária – SUASA. O SISBI-POA integra o SUASA e tem como função padronizar e harmonizar os procedimentos de inspeção de produtos de origem animal para garantir sua inocuidade e segurança alimentar, conforme Portaria MAPA n° 672, de 08 de abril de 2024 (Brasil, 2024).

Os PAC relativos ao Sistema de Inspeção Municipal – SIM têm estrutura simplificada com foco em higiene e controle básico e apresentam grande variação entre municípios. Já o Sistema de Inspeção Estadual – SIE adota um modelo intermediário que varia por estado, mas está alinhado ao SIF. Portanto, quanto mais estruturados forem seus PAC, mais próximos estarão do SIF. Por ser mais completo e estruturado, os PAC estabelecidos em abatedouros avícolas com SIF são obrigatórios no caso de exportação.

A numeração dos PAC vai de 01 a 15 e segue o modelo adotado pelo MAPA/DIPOA. Estados e municípios não são obrigados a utilizar exatamente essa numeração, entretanto, o conteúdo técnico deve ser equivalente.

No Anexo II da Norma Interna DIPOA/SDA nº 01, de 08 de março de 2017, que trata da verificação oficial de elementos de controle em caráter de inspeção permanente (parte I – verificação *in loco*), encontram-se os modelos de tabelas para tal fim contendo: A – Identificação dos Turnos: onde deve ser informado o número de turnos de trabalho e as atividades realizadas em cada turno e B – Elementos de Controle (PAC):

Na parte II dessa IN nº 01/2017 descreve a verificação documental onde se observam: A – Identificação do período avaliado (de dia/mês/ano a dia/mês/ano) e B – Avaliação dos registros (elementos de controle, elementos de procedimento e a identificação de não conformidade, quando houver), especificando se cada item está em conformidade com a legislação.

Os PAC em nível de fiscalização federal (SIF) exigem maior padronização e rigor técnico e, por isso serão detalhados pormenorizadamente a seguir:

PAC 01 – Manutenção de instalações e equipamentos

Visa observar as condições de funcionamento dos equipamentos e a perfeita estrutura das instalações do abatedouro envolvendo edificações, máquinas, instalações hidráulicas e elétricas, anexos a produção. Neste programa estão incluídos iluminação, ventilação, águas residuais e a calibração de equipamentos.

A iluminação deve ser feita por lâmpadas protegidas com uma estrutura blindada com calhas de proteção para evitar contaminação dos produtos em caso de explosão. A ventilação deve ser adequada para evitar a propagação de odores, vapores e condensação, gelo e neve que provoquem a alteração dos produtos e surgimento de condições inadequadas do ambiente. O programa estabelece que não pode existir: condensação em ambiente sob riscos de contaminação; acúmulo de água no piso durante o processamento e após a limpeza das instalações e exaustão de vapor e renovação do ar ambiente.

Dentro deste programa de autocontrole estão também inseridas a calibração e a aferição de instrumentos deve ser realizadas diariamente antes do início das atividades exercidas em cada setor, por meio de balanças com medições realizadas com pesos padronizados, com termômetros para aferição do ponto de congelamento e de termostato de temperatura por acompanhamento e observação visual (utilizado no teste de gotejamento de carcaças - *Dripping Test*).

PAC 02 – Água de abastecimento

Estabelece os procedimentos utilizados para captação e tratamento de água, deixando-a própria para o consumo (potável) e em quantidade suficiente para o desenvolvimento das atividades, garantindo a qualidade e inocuidade da água que entra em contato direto ou indireto com os produtos durante todo o processo de industrialização.

Neste item devem constar a identificação do ponto de coleta (origem da água), do sistema de tratamento adotado, a distribuição, os equipamentos utilizados, controle dos reservatórios e as análises e padrões de qualidade conforme o plano de inspeção.

O cronograma de coleta, de análises e os padrões de qualidade da água de um abatedouro de aves são determinados em portaria GM/MS n° 888/2021. O monitoramento microbiológico e físico-químico da água deve ser realizado regularmente, mensurando o nível de cloro residual livre (ppm) e o pH nos pontos de coleta.

PAC 03 – Controle integrado de pragas

Esse programa estabelece o controle de vetores biológicos e mecânicos, conforme plano de inspeção, que possam habitar o ambiente de produção, incluindo pátio e arredores,

sanitários, vestiários, depósitos e nos equipamentos. Entre os vetores que oferecem riscos de contaminação para os produtos alimentícios, destacam-se: ratos, baratas, insetos (moscas) e outras pragas.

No Art. 55. do Decreto nº 9.013/2017 – RIISPOA, "os estabelecimentos devem possuir programa eficaz e contínuo de controle integrado de pragas e vetores." No controle devem ser adotadas medidas periódicas e, inclusive, uso controlado de produtos químicos em conformidade com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Norma Brasileira – NBR 14725/2010, que contém informações sobre segurança, saúde e meio ambiente e Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ). Dentre as medidas estão, por exemplo, a colocação de iscas com raticida, pulverização com inseticida e utilização de gel inseticida. Porém, a utilização de produtos químicos não é suficiente, barreiras físicas devem ser implantadas como telas de malha fina nas janelas para evitar a entrada de vetores na área de produção.

PAC 04 – Higiene industrial e operacional (PPHO)

Os Procedimentos Padrões de Higiene Operacional – PPHO preveem o estabelecimento de medidas de limpeza e sanitização adotadas antes e após as operações (pré-operacional e operacional) dos equipamentos, utensílios e superfície de contato com o produto.

De acordo com o Manual de Procedimentos de Inspeção de Aves e Derivados da Secretaria de Defesa Agropecuária (Brasil, 2021), a fiscalização deve avaliar "se as substâncias e produtos químicos utilizados estão informadas e se possuem registro junto ao órgão regulador da saúde competente, com seu uso autorizado para indústrias de alimentos".

Apenas produtos aprovados pelo MAPA podem ser utilizados para higienização de instalações, equipamentos e tratamento da água e carcaças, tais como cloro e ácidos orgânicos (Decreto nº 9.013/2017 – RIISPOA e Portaria SDA n° 210/1998). Assim, pode-se utilizar, por exemplo, detergente neutro (lavagem de mãos); detergente alcalino clorado (lavagem de caixas e do ambiente); sanitizante a base de ácido peracético (retirar manchas de ferrugem); sanitizante a base de quaternário de amônia (lavagem de caminhões transportadores de aves) e sanitizante cloro (limpeza de paredes e ambientes).

PAC 05 – Higiene e hábitos higiênicos dos manipuladores

Esse PAC define normas de higiene que os funcionários devem cumprir, estabelecendo regras de higiene pessoal (barba feita, unhas curtas, cabelos presos, mãos e antebraços lavados), uso de EPIs (bata, botas, máscara e balaclava), comportamento (não comer, não utilizar cosméticos e adornos) e saúde dos funcionários para evitar contaminação dos produtos. Operários com saúde comprometida devem ser encaminhados para tratamento médico ou funções que não tenham contato direto com os alimentos. Dessa forma, vestiários e banheiros devem estar em perfeitas condições para uso (chuveiros, torneiras e sanitários), sempre abastecido com sanitizante para mãos e produtos de higiene pessoal.

PAC 06 – Procedimentos sanitários operacionais (PSO)

Os PSO abrangem práticas de rotina durante o processo produtivo para garantir condições sanitárias adequadas tais como, fluxo, organização e controle de contaminação.

Esse programa estabelece que atividades sanitárias operacionais sejam designadas em cada setor de acordo com sua função, a saber:

- Sangria, evisceração e corte: higiene de equipamentos, utensílios e instrumentos de trabalho;
- Escalda e depenagem: escalda, depenagem das aves e higiene de equipamentos e utensílios;
- Evisceração: lavagem de carcaças, extração de cloaca, corte abdominal, retirada de vísceras comestíveis e não comestíveis, corte e limpeza de moelas, retirada de cabeças;
- Corte: higiene das esteiras de corte;
- Expedição: aferição da temperatura dos produtos;
- Resfriamento nas câmaras de congelamento e túneis de estocagem: resfriamento e congelamento de produtos;
- Evisceração, embalagem, corte, expedição: conduta dos colaboradores perante os procedimentos operacionais das atividades desenvolvidas.
- Cloro, gelo, água, injeção de ar (borbulho) e vapor: qualidade do material que entra em contato direto com o produto;
- Embalagem primária: qualidade do material que entra em contato direto com o produto alimentício.

PAC 07 – Controle da matéria-prima, ingredientes e embalagens

O PAC 07 especifica os critérios utilizados para a seleção, recebimento, identificação, armazenamento e controle de matérias-primas, ingredientes e embalagens, normatizados pelo Decreto MAPA/SDA/DIPOA nº 9.013/2017 – RIISPOA e pela Norma Interna DIPOA/SDA nº 01/ 2017. Este decreto também considera os animais destinados ao abate como matéria-prima e estabelece que os produtos utilizados devem ser seguros e registrados, quando assim for exigido.

Com relação às embalagens, a Norma Interna DIPOA/SDA nº 01/2017 define que, quando utilizadas em produtos esterilizados, devem as embalagens ser avaliadas quanto à resistência e selagem ou recravação (processo industrial de fechamento hermético de latas contendo alimentos).

PAC 08 – Controle de temperaturas

Esse programa controla as temperaturas nas etapas de abate, resfriamento e armazenamento, garantindo a cadeia de frio e evitando o crescimento microbiano e consequente contaminação e condenação de produtos. Avalia a integridade da temperatura não apenas dos produtos, mas também do ambiente por onde percorre o produto (tanques de resfriamento, salas, túneis e câmaras) para que o produto, no ponto de saída dos túneis, atinja a temperatura de -12 °C.

PAC 09 – Programa de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle – APPCC

É um sistema preventivo criado para identificar, avaliar, monitorar e controlar os perigos biológicos, químicos e físicos (ações preventivas/corretivas), definindo os Pontos Críticos de Controle – PPC, dividido em três segmentos:

- PCC 1 B (biológico): trata de perigo biológico pela presença de conteúdos fecal e biliar pelo indicativo da presença de *Salmonella* ssp e *Escherichia coli*. Para detectar as contaminações é realizada uma inspeção visual interna e externa das carcaças, retirando-se a carcaça contaminada da nória de evisceração, colocando-a em nória anexa, para remoção da parte contaminada. Após a retirada da parte contaminada a carcaça é recolocada na linha contínua.
- PCC 2 B (biológico): trata de perigo biológico pela multiplicação de bactérias patogênicas (*Escherichia coli, Salmonela* ssp, *Compilobacter* ssp, *Listeria monocytogenes* e *Clostridium* ssp) no processo de resfriamento. Esse programa estabelece que as carcaças devem ser resfriadas ou congeladas no intervalo de quatro horas, seguidos do momento da sangria até os túneis de congelamento, onde o produto deve atingir uma temperatura interna de 4 °C sem ultrapassar esse tempo.
- PCC 1 Q (químico): trata de perigo químico pela presença de resíduos de medicamentos na matéria-prima acima do Limite Máximo de Resíduo – LMR. Todo lote destinado ao abate deve apresentar o boletim sanitário, Guia de Trânsito Animal – GTA e o histórico do lote para verificar o período de carência das drogas administradas nas aves.

PAC 10 – Análises laboratoriais

Contempla o programa de autocontrole, atendimento de requisitos sanitários dos produtos e tem como elementos de controle: a área, as instalações, os equipamentos e todas as operações executadas, incluindo a água de abastecimento e gelo.

Consiste no envio de amostra de produtos para análise em laboratórios credenciados pelo MAPA para avaliação microbiológica e físico-química especificamente para alimentos certificados ou que seguirão para exportação, para definir se os produtos estão dentro dos limites máximos aceitáveis de microrganismos para consumo de cada produto (explícito por unidade formadora de colônia por centímetro quadrado (UFC/cm^2) ou se devem ser descartados. Os padrões microbiológicos de alimentos variam de acordo com o tipo de produto (cru, cozido, pronto para consumo), o processamento e o potencial risco sanitário e são normatizados pela Instrução Normativa n° 60, de 23 de dezembro de 2019 (Anexo I) e pela Resolução RCD/MS/ANVISA n° 331/2019.

PAC 11 – Controle de formulação de produtos e combate à fraude

Esse programa de autocontrole busca garantir que a identidade, a qualidade, a segurança higiênico-sanitária e tecnológica do produto de origem animal atendam à formulação, ao processo de fabricação e ao rótulo. O PAC 11 permite verificar se o rótulo utilizado *in loco* corresponde ao registrado, para evitar adulterações, fraudes econômicas e não conformidades de rotulagem, inclusive em produtos *in natura*, conforme plano de inspeção.

PAC 12 – Rastreabilidade e recolhimento

Permite identificar a origem e destino dos produtos de origem animal, possibilitando seu rastreamento e rápida retirada do mercado em caso de risco (recolhimento) quando a não conformidade for detectada. Também contempla as etapas de segurança definidas e validadas pelo estabelecimento de modo a resguardar todo o processo produtivo.

PAC 13 – Respaldo para certificação oficial

Nesse PAC o abatedouro deve demonstrar ao Serviço de Inspeção Federal que os produtos de origem animal e seus sistemas de controle atendem às exigências da legislação nacional e de acordos internacionais. Em resumo, o objetivo é garantir que o estabelecimento possua rastreabilidade, controle e conformidade documental, assegurando a credibilidade sanitária dos produtos, especialmente para fins de certificação e exportação.

Para tanto, a avaliação deve envolver, inclusive, a verificação dos processos que sustentam a certificação sanitária, tais como: controle da alimentação dos lotes das aves (composição da ração), comprovação da realização de análises laboratoriais exigidas, verificação da documentação pré-embarque e o cumprimento dos controles previstos na Instrução Normativa MAPA/SDA nº 431 de 19 de outubro de 2021 e na Instrução Normativa MAPA/SDA nº 10, de 01 de abril de 2014.

PAC 14 – Bem-estar animal

Esse PAC assegura que os animais sejam manejados de forma humanitária, avaliando-se os procedimentos adotados pelo abatedouro referente ao transporte, desembarque, lotação, descanso, condução, imobilização/contenção, insensibilização, sangria, escaldagem/esfola, os quais devem ser executados de acordo com o plano escrito atendendo à normatização da Instrução Normativa SDA n° 03 de 17 de janeiro de 2000.

Para tanto são considerados os cinco domínios dos animais, sendo quatro físicos/funcionais (1- Nutrição, 2- Ambiente, 3- Saúde e 4- Comportamento) e um da experiência afetiva (5- Estado mental), conforme preceitos estabelecidos por Mellor & Reid (1994).

PAC 15 – Identificação, remoção, segregação e destinação do material especificado de risco.

Esse PAC tem por objetivo avaliar se abatedouro está atendendo ao seu plano escrito de materiais especificados de risco – MER em todas as etapas e se está compatível com o disposto no Memorando-Circular n° 001/2007/CGI/DIPOA de 23 de janeiro de 2007 e aditamentos.

Os materiais especificados de risco contemplam o controle de resíduos e contaminantes e o controle de efluentes e resíduos industriais. O primeiro, monitora a presença de resíduos químicos, medicamentos veterinários e contaminantes, garantindo conformidade com limites legais e o segundo garantindo que o manejo adequado de resíduos sólidos e líquidos e o tratamento de efluentes atendam à legislação ambiental.

Além destes, estão incluídos o controle de água residual. Assim, deve-se avaliar a disponibilidade de sistema de recolhimento de águas residuais para facilitar o

recolhimento e drenar o volume produzido, bem como prevenir eventuais refluxos que possam contaminar a rede de abastecimento de água potável. Assim, em um abatedouro avícola, deve-se observar se há acúmulo de água residual (contaminada) no piso, nas canaletas e nos utensílios, proveniente do processamento dos produtos (oriunda do gotejamento, descongelamento de gelo e lavagem). No Quadro 1 apresenta-se um resumo dos PAC de acordo com o nível de inspeção.

Quadro 1. Compilação dos PAC em conformidade com o nível de inspeção sanitária

Nível de inspeção	Órgão responsável	Base legal principal	Programa de Autocontrole exigido
Federal (SIF)	MAPA/DIPOA	Decreto nº 9.013/2017 – RIISPOA e normas complementares	01 – Manutenção de instalações e equipamentos 02 – Água de abastecimento 03 – Controle integrado de pragas 04 – Higiene industrial e operacional 05 – Higiene e hábitos higiênicos dos manipuladores 06 – Procedimentos sanitários operacionais 07 – Controle de matérias-primas, ingredientes e embalagens 08 – Controle de temperaturas 09 – Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle - APPCC 10 – Análises laboratoriais 11 – Controle de formulação de produtos e combate à fraude 12 – Rastreabilidade e recolhimento (*recall*) 13 – Respaldo para certificação oficial 14 – Bem-estar animal 15 – Identificação, remoção, segregação e destinação do Material Especificado de Risco (MER)
Estadual (SIE)	Órgãos estaduais	Legislação estadual mais adesão ao SISBI-POA[1]	01 a 05 – Estrutura, água, pragas, higiene, manipuladores (geralmente são obrigatórios) 06 a 10 – São exigidos conforme porte e risco 11 a 15 – Exigidos principalmente em estabelecimentos integrados ao SISBI
Municipal (SIM)	Prefeituras	Legislação municipal mais diretrizes do SUASA[2]	01 – Estrutura e manutenção 02 – Controle da água 03 – Controle de pragas 04 – Higiene (limpeza e desinfecção) 05 – Manipuladores *(demais PAC podem ser exigidos conforme legislação local)*

[1]- SISBI-POA: Sistema Brasileiro de Inspeção de Produtos de Origem Animal. [2]- SUASA: Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária.

3.2. INSPEÇÃO ANTE-MORTEM E POST-MORTEM

A garantia que as exigências estabelecidas nos documentos descritos pelo RIISPOA sejam cumpridas nos processos produtivos do abatedouro avícola, é de plena responsabilidade do Serviço de Inspeção Federal – SIF. O SIF também avalia as conformidades dos produtos, assegurando que os produtos cheguem ao consumidor com qualidade sanitária.

Para tanto, são realizadas inspeções antes e após o abate (*ante-mortem* e *post-mortem*).

A inspeção *ante-mortem* compreende a avaliação visual realizada com as aves vivas na área de espera e plataforma de desembarque para obter o controle de dados de cada lote abatido. As informações contidas no boletim sanitário, na GTA e histórico do lote também são averiguados e encaminhados ao fiscal federal responsável pelo estabelecimento. O abate só ocorre com a permissão do fiscal. Caso seja detectado algo fora do permitido

legalmente, o lote será abatido no final do abate, momento em que será reduzida a velocidade de abate objetivando uma análise mais rigorosa do lote. Além disso, os produtos ficam retidos até ser realizada uma análise de resíduos químicos em lotes que apresentem intenso uso de antibióticos e coccidiostáticos.

A inspeção *post-mortem* é realizada na sala de evisceração após a exposição das vísceras. Nessa vistoria é realizada a detecção de doenças e problemas de caráter físicos, maiores responsáveis pela condenação das carcaças.

Todas as aves abatidas são vistoriadas, caso estejam apresentando características anormais são encaminhadas para o Departamento de Inspeção Final – DIF. O DIF é formado por ganchos dispostos em linha aérea rotatória e um tanque de aço inoxidável com gelo para depósito de partes comestíveis de carcaças comprometidas parcialmente. No DIF as carcaças são avaliadas e classificadas em: comprometidas parcialmente e comprometidas totalmente. Quando o comprometimento é parcial são retiradas as partes lesionadas, aproveitando-se as comestíveis, enquanto no comprometimento total as carcaças são descartadas e depositadas em caixas vermelhas seguindo para a graxaria.

Alguns problemas de maior ocorrência identificados pelos monitores do SIF são doenças, contusões e contaminações, abaixo descritos:

- *Doenças*

Ascite: manchas estranhas no fígado (comprometimento parcial) e acúmulo de líquido no abdômen (comprometimento total);

Aspecto repugnante: aves magras, com coloração escura, exalando odores anormais;

Aerosaculite: processos inflamatórios dos sacos aéreos (bactérias, vírus das vias respiratórias) ou manejo inadequado que afeta o sistema respiratório;

Caquexia: aves com crescimento retardado por algum distúrbio metabólico que provoca desnutrição crônica,

Colibacilose: processo inflamatório sistêmico ou localizado, causado por *Escherichia coli*.

Neoplasia: fígado com coloração esverdeada;

Dermatose: carcaça com edemas na pele.

- *Contaminações*

Contaminação sanguinolenta: resultado de sangria inadequada (carcaça com coloração avermelhada);

Contaminação biliar: contaminação por extravasamento do líquido biliar (carcaça com manchas verdes);

Contaminação gástrica: contaminação por extravasamento do conteúdo do papo (carcaça com vestígio de ração);

Contaminação fecal: contaminação por ruptura dos intestinos (carcaça com vestígio de fezes).

- *Contusões*

Contusão de asa: fraturas nos ossos da asa com acúmulo de sangue no local (indicativo de processo inflamatório);

Contusão de peito: musculatura do peito com coloração vermelha escura ou esverdeada (indicativo de processo inflamatório);

Contusão de coxa: fratura no osso da coxa com acúmulo de sangue no local (indicativo de processo inflamatório);

Escaldagem excessiva: causada pelo excesso de temperatura na escaldagem (carcaça com rupturas na pele e na musculatura);

Calo de peito: ferimentos no peito.

Além dessas inspeções, diariamente o SIF realiza o teste de absorção de água no pré-resfriamento, e semanalmente, o teste de gotejamento (*Dripping Test*), encaminhando amostras dos produtos para análise laboratorial de natureza microbiológicas e química. Estes testes fazem parte do controle de formulação de produtos e combate à fraude que constam do PAC 11. O PAC 11 contempla o Programa de Prevenção e Controle da Adição de Água aos Produtos – PPCAAP que abrange esses dois testes, importantes para comprovar se as carcaças absorveram apenas a porcentagem de água permitida pelo MAPA. Os resultados devem ser registrados em planilhas, arquivadas para auditoria.

O teste de absorção é realizado em carcaças de frango, para monitorar a porcentagem de água absorvida nos processos de resfriamento por imersão, cujo limite máximo permitido é 8%. Para isso, uma quantidade mínima de dez carcaças é separada e testada após passarem pelo segundo banho da calha de evisceração. Essas passam por escorrimento da água retida nas cavidades, são pesadas individualmente, determinando-se o peso inicial (*Pi*). A partir daí, são identificadas com lacres numerados fixados nas pernas antes de seguirem para o pré-chiller; ao sair do chiller as carcaças são colocadas na nória de gotejamento por três minutos (eliminar o excesso de água adquirida durante o processo). Em seguida, são novamente pesadas individualmente para obtenção do peso final (*Pf*). Estes valores são colocados na fórmula para determinar o percentual de absorção de água:

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100$$

O *Dripping Test* ou teste de gotejamento mede a água liberada durante o descongelamento controlado (exsudato) e é realizado em equipamentos de banho-maria, com temperatura e nível de água controlados. A quantidade de água determinada por este método exprime-se em percentagem do peso total da carcaça congelada com os miúdos.

Se a quantidade de água resultante, expressa em percentagem do peso da carcaça, com todos os miúdos ultrapassarem o valor de 6%, considera-se que a carcaça absorveu um excesso de água durante o pré-resfriamento por imersão de água.

Para o *Dripping Test* retira-se aleatoriamente uma caixa contendo seis a 10 frangos congelados a -12 °C da produção do dia anterior. Na sequência, enxuga-se o lado externo da embalagem para eliminar todo líquido e gelo; pesa-se a carcaça para obter o peso P1 (carcaça + embalagem íntegra).

Para obtenção do peso P2, retira-se a carcaça congelada (com vísceras, quando houver) de sua embalagem, colocando-a dentro de uma embalagem plástica impermeável com abertura no abdômen da ave voltada para o fundo da embalagem. Essa embalagem deve ficar imersa no banho-maria à temperatura de ~ 42 °C ± 2 °C (para evitar o cozimento e perda excessiva de tecidos) até atingir 4°C, sem que a água penetre em seu interior.

Ao passar o tempo determinado, a embalagem plástica deve ser retirada do banho-maria, abre-se um orifício na parte inferior para escoar a água do descongelamento, deixando a embalagem com a carcaça por 1 hora em temperatura ambiente entre 20 e 25 °C, sem compressão ou manipulação. Em seguida, enxuga-se com toalha de pano para realizar a pesagem. Procede-se da mesma forma com a embalagem das vísceras, quando houver, utilizando-se a fórmula:

$$Dripping\ Test\ (\%) = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Os cortes congelados de frango também podem ser encaminhados para laboratório reconhecido e credenciado submetidos para determinar o teor de água (%) e a relação água/proteína de cortes *in natura*, resfriado ou congelado, com ou sem pele ou osso.

A quantidade de água resultante do descongelamento das seis carcaças não pode ser superior a 6%, segundo o MAPA. Se a quantidade de água absorvida ultrapassa o valor limite, o lote será apreendido. Valores mais altos indicam maior retenção de água no processamento e pode indicar excesso de absorção no chiller ou falha no controle do processo.

4. PRODUTOS DE UM ABATEDOURO AVÍCOLA

O mix de produtos de um abatedouro avícola é baseado em segmentos de mercado, sendo comercializados na forma congelada e resfriada, os produtos ou cortes básicos são:

- Carcaças: frango congelado inteiro, frango resfriado inteiro e galeto.

Frango inteiro: carcaça embalada inteira com miúdos (fígado, moela) e outras partes (pés, cabeça e pescoço com pele), com peso médio de 2,5 kg.

Frango carcaça: é o produto sem miúdos (*frango broiler*) com peso abaixo de 2 kg, comercializadas normalmente entre 1,1 e 1,3 kg. Identifica-se ainda uma classificação especial que é a de 1,8 kg para contemplar o mercado do frango assado.

Frango Griller: frango inteiro pesando no máximo 1,5 kg (abatido aos 30 dias de idade, em média), destinado ao mercado externo (oriente médio), apresentando 83% de rendimento de carcaça de carcaça.

Galeto: frango de tamanho pequeno, abatido com 32 dias de idade, embalado sem miúdos. As carcaças são classificadas por peso e tipo comercial, sendo comum a definição de diferentes faixas de comercialização (Olivo; Rabelo, 2006), não existindo, portanto, uma padronização única, sendo definida pela demanda do consumidor e estratégia do abatedouro. A classificação varia conforme o mercado, se interno ou externo e em função do tipo de produto, se inteiro ou em cortes.

- Cortes: asa, coxinha da asa, coxa, sobrecoxa, coxa com sobrecoxa, frango a passarinha, peito, filé de peito, tulipa, moela, fígado e coração.
- Cortes interfoliados: cortes organizados em camadas separadas individualmente por folhas (filmes plásticos ou papel apropriado) dentro da embalagem, permitindo fácil manuseio e retirada, são eles: asa, ponta da asa, peito, filé de peito, coxa, sobrecoxa e coxa com sobrecoxa.
- Canjinha: parte do dorso da ave com pescoço e uropígio (micula ou sobrecu).

O processo de embalagem também deve seguir normas e padrões legais. O Decreto 9.013/2017 – RIISPOA estabelece requisitos de higiene, acondicionamento, embalagem, rotulagem e transporte dos produtos.

As embalagens devem ser de material atóxico (plástico, papel ou outros), apropriado para contato com alimentos, manter a integridade e rastreabilidade do produto e atender os limites de migração, visando evitar contaminação física, química e microbiológica, conforme Resolução RDC nº 91, de 11 de maio de 2001.

O perfeito controle higiênico na área de embalagem, a manipulação adequada e a prevenção de contaminação cruzada são estabelecidas nas Boas Práticas de Fabricação – BPF aplicáveis à abatedouros e avícolas, conforme Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002 e constam do PAC 07 – Controle da matéria-prima, ingredientes e embalagens.

A Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003, que aprova o Regulamento Técnico de Rotulagem de Alimentos Embalados define as informações obrigatórias que devem constar no rótulo dos produtos, tais como: denominação do produto, lista de ingredientes, data de validade, lote (para permitir a rastreabilidade), informações nutricionais e a identificação do SIF.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avicultura industrial é um setor complexo que abrange desde a produção de pintos até o abate do frango terminado. Esse seguimento gera empregos diretos e indiretos, porém diversos manejos devem ser adotados durante todo o processo produtivo, incluindo o abate, para assegurar a qualidade do produto destinado ao consumidor.

A legislação brasileira apresenta decretos, portarias, resoluções e instruções normativas, que instituem os procedimentos padrão no segmento de abate avícola para garantir segurança dos alimentos, proteger a saúde pública, assegurar o bem-estar animal, padronizar a qualidade industrial e viabilizar o comércio nacional e internacional.

Para isso, estabelecem um conjunto abrangente de ações voltadas à inspeção sanitária oficial, ao controle higiênico-sanitário e de contaminação, ao abate humanitário, ao controle de temperatura e conservação, à rastreabilidade e controle documental, ao atendimento a exigências de mercado e exportação e finalmente, às auditorias do serviço oficial, garantindo transparência e controle ao longo da cadeia produtiva, bem como estabelece requisitos para conservação, armazenamento e transporte, com ênfase na manutenção da cadeia do frio.

Por fim, essas normas também viabilizam a conformidade com exigências de mercados nacionais e internacionais, por meio de fiscalização oficial e certificação sanitária, consolidando um sistema que integra segurança, qualidade e competitividade no setor avícola.

REFERÊNCIAS

[1] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Brasileira NBR 14725-4**. Versão corrigida, 26.01.2010. Produtos químicos: informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ). Disponível em: <https://ww3.icb.usp.br/wp-content/uploads/2019/11/Parte4_NBR_14725-4-2009.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2026.

[2] ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2025**. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2025/04/ABPA.-Relatorio-Anual-2025.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2026.

[3] BARKER, D.; LANKHAAR, J.; STALS, P.. Primary processing of poultry. **Poultry Meat Processing and Quality**, Cap. 5, p. 90-107, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B9781855737273500103?via%3Dihub>. Acesso em: 27 fev. 2026.

[4] BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Portaria MAPA/SDA nº 1354 DE 14 de agosto de 2025. Revoga a Instrução Normativa SDA/MAPA nº 49/2006, que aprovou as instruções para permitir a entrada e o uso de produtos nos estabelecimentos registrados ou relacionados no Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal, do Ministério da Agricultura e Pecuária. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 de agosto de 2025. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=482256#:~:text=Art.%201%C2%BA%20Fica%20revogada%20a%20Instru%C3%A7%C3%A3o%20Normativa,para%20permitir%20a%20entrada%20e%20o%20uso>. Acesso em: 25 mar. 2026.

[5] BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Portaria MAPA nº 672, de 8 de abril de 2024. Estabelece os procedimentos de cadastro no Sistema de Gestão de Serviços de Inspeção (e-Sisbi), as diretrizes e as regras de transição para a integração de Serviços de Inspeção ao Sistema Brasileiro de Inspeção de Produtos de Origem Animal (Sisbi-Poa). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 de abril de 2024. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mapa-n-672-de-8-de-abril-de-2024-552780312>. Acesso em: 24 mar. 2026.

[6] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria SDA/MAPA nº 864, de 31 de julho de 2023. Altera a Portaria SDA nº 365, de 16 de julho de 2021, que aprova o Regulamento Técnico de Manejo Pré-Abate e Abate Humanitário e os métodos de insensibilização autorizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202308/07144502-portaria-sda-mapa-864-de-31-de-julho-de-2023-portaria-sda-mapa-864-de-31-de-julho-de-2023-dou-imprensa-nacional.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2026.

[7] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de Procedimentos de Inspeção e Fiscalização de Aves e Derivados em Estabelecimentos sob Inspeção Federal. Brasília: MAPA, DIPOA. Versão 1. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/defesa-agropecuaria/manuais-do-dipoa >. Acesso em: 16 mar. 2026.

[8] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de defesa Agropecuária. Portaria SDA nº 431 DE 19 de outubro de 2021. Aprova os procedimentos de trânsito e de certificação sanitária de produtos de origem animal e de habilitação para exportação de estabelecimentos nacionais registrados junto ao Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 outubro 2021. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=422142>. Acesso em: 25 mar. 2026.

[9] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria SDA/MAPA nº 365, de 16 de julho de 2021. Aprova o Regulamento Técnico de Manejo Pré-abate e Abate Humanitário e os métodos de insensibilização autorizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202109/16155951-portaria-n-365-de-16-de-julho-de-2021-portaria-n-365-de-16-de-julho-de-2021-dou-imprensa-nacional.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2026.

[10] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece o regulamento técnico para o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 maio 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 5 jan. 2026.

[11] BRASIL. GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 maio 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 13 mar. 2026.

[12] BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 429, de 8 de outubro de 2020. Dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 outubro 2020, Seção 1. Disponível em: <https://anvisalegis.datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&tipo=RDC&numeroAto=00000429&seqAto=000&valorAno=2020&orgao=RDC/DC/ANVISA/MS&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_menu=1696&cod_modulo=134&pesquisa=true>. Acesso em: 17 mar. 2026.

[13] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA nº 17, de 6 de março de 2020. Estabelece os procedimentos para reconhecimento da equivalência e adesão ao Sistema Brasileiro de Inspeção de Produtos de Origem Animal (SISBI-POA). Diário Oficial da União, 2020. Disponível em: <https://www.iagro.ms.gov.br/wp-content/uploads/2020/05/INSTRU%C3%87%C3%83O-NORMATIVA-N%C2%BA-17-DE-6-DE-MAR%C3%87O-DE-2020.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2026.

[14] BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. Instrução Normativa n° 60, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União, 26 dezembro 2019. Disponível em: < https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-60-de-23-de-dezembro-de-2019-235332356>. Acesso em: 25 mar. 2026.

[15] BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 331, de 23 de dezembro de 2019. Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2019/rdc0331_23_12_2019.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2026.

[16] BRASIL. Decreto MAPA/DAS/DIPOA nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 março 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/arquivos-publicacoes-dipoa/perguntas-e-respostas-decreto-9-013-de-2017-regulamento-de-inspecao-industrial-e-sanitaria-de-produtos-de-origem-animal>. Acesso em: 06 jan. 2026.

[17] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Norma Interna DIPOA/SDA nº 01, de 8 de março de 2017. Resolver aprovar os modelos de formulários, estabelece as frequências e as amostragens mínimas a serem utilizadas na inspeção e fiscalização, para verificação oficial dos autocontroles implantados pelos estabelecimentos de produtos de origem animal registrados (SIF) ou relacionados (ER) junto ao DIPOA/SDA, bem como o manual de procedimentos. Brasília, DF: MAPA, 2017. Disponível em: <https://fooddesigngroup.com/wp-content/uploads/2019/01/norma-interna-dipoasda-n-01-de-08-de-marco-de-2017.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2026.

[18] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria MAPA nº 155, de 17 de agosto de 2016. Altera o Anexo da Portaria MAPA nº 711, de 1º de novembro de 1995, incluindo novas disposições sobre congelamento e expedição de carnes. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 ago. 2016. Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/portaria-mapa-155-de-17-08-2016,1072.html>. Acesso em: 08 fev. 2026.

[19] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA nº 10 de 01 de abril de 2014. Estabelece os modelos oficiais de Certificado Sanitário Nacional (CSN) e Guia de Trânsito (GT) e os procedimentos a serem adotados para o Certificado Sanitário Nacional (CSN) e Guia de Trânsito (GT), produzidos em estabelecimentos registrados e relacionados no Serviço de Inspeção Federal (SIF), em todo o território nacional. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2 abril 2014. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=268660>. Acesso em: 25 mar. 2026.

[20] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 62, de 26 de dezembro de 2011. Aprova o Regulamento Técnico de Boas Práticas de Fabricação de Produtos de Origem Animal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2011. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/inspleite/files/2018/06/IN62.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2026.

[21] BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=17214>.

Acesso em: 18 mar. 2026.

[22] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA/MAPA n°49, de 14 de agosto de 2006. Aprova as Instruções para permitir a entrada e o uso de produtos nos estabelecimentos registrados ou relacionados no Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em conformidade com os Anexos desta Instrução Normativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 set. 2006. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=643062246>. Acesso em: 25 mar. 2026.

[23] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Circular DAS/DIPOA/CGPE nº 176, de 16 de maio de 2005. Modifica as Instruções para a verificação do PPHO, encaminhados pela Circular Nº 201/97 DCI/DIPOA e aplicação dos procedimentos de verificação dos Elementos de Inspeção previstos na Circular Nº 175/2005 CGPE/DIPOA Brasília, DF: MAPA, 2005. Disponível em: <https://www.balancastrentinrs.com.br/pdf/176_2005.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2026.

[24] BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2026.

[25] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Circular DCI/DIPOA nº 369, de 2 de junho de 2003. Instrui sobre elaboração e implantação dos sistemas PPHO e APPCC nos estabelecimentos habilitados à exportação de carnes. Brasília, DF: MAPA, 2003. Disponível em: <https://fooddesigngroup.com/wp-content/uploads/2019/01/circular-369-03-appcc-estab-exportadores.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2026.

[26] BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/res0360_23_12_2003.html>. Acesso em: 01 abr. 2026.

[27] BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 out. 2002. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2002/anexos/anexo_res0275_21_10_2002_rep.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2026.

[28] BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 91, de 11 de maio de 2001. Aprova regulamento técnico sobre materiais, embalagens e equipamentos em contato com alimentos. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 15 maio 2001. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/rdc0091_11_05_2001.html>. Acesso em: 01 abr. 2026.

[29] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA n° 3, de 17 de janeiro de 2000. Aprova o regulamento técnico de métodos de insensibilização para o abate humanitário de animais de açougue. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 jan. 2000. Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/instrucao-normativa-sda-3-de-17-01-2000%2C661.html>. Acesso em: 16 mar. 2026.

[30] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 210, de 10 de novembro de 1998. Art. 1º Aprovar o Regulamento Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiênico-Sanitária de Carne de Aves. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1998. Disponível em: <https://www.cidasc.sc.gov.br/inspecao/files/2020/06/05.-Portaria-210.1998-MAPA-Regulamento-t%C3%A9cnico-de-inspe%C3%A7%C3%A3o-de-aves.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2026.

[31] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 368, de 4 de setembro de 1997. Estabelece procedimentos de Boas Práticas de Fabricação para estabelecimentos elaboradores/industrializadores de alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 set. 1997. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/empresario/Portaria_368.1997.pdf/view>. Acesso em: 08 jan. 2026.

[32] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria SVS/MS nº 326, de 30 de junho de 1997. Estabelece o

Regulamento Técnico sobre as condições higiênico-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1 jul. 1997. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs1/1997/prt0326_30_07_1997.html>. Acesso em: 10 jan. 2026.

[33] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 711, de 01 de novembro de 1995. Estabelece diretrizes para construção de instalações industriais de produtos de origem animal. Diário Oficial da União, 3 de novembro 1995. Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/portaria-mapa-711-de-01-11-1995%2C755.html>. Acesso em: 08 fev. 2026.

[34] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15): Atividades e Operações Insalubres. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978 (atualizada). Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-15.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2026.

[35] DÍAZ, Antonio Valero; CALLEJA, Carlos Alonso; ESCÁMEZ, Pablo Fernández; FRANCO; Carlos Manuel. Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) on the determination of the date of minimum durability for frozen meat in retail establishments. **Revista del Comité Científico de la AESAN**, v. 36, p. 209-236, 2022. Disponível em: <https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_cc_ingles/FROZEN_MEAT.pdf>. Acesso em em: 17 mar. 2026.

[36] FERNANDES, Fernando Fagundes. **Verificação Oficial de Elementos de Controle**. 03 de fevereiro de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/arquivos-publicacoes-dipoa/treinamento-sif-2019-voec-com-comentarios.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2026.

[37] JOHNSON, Ryan. **The Poltry Site**, 27 de julho de 2018. What happens to chickens at processing plants? The goal for processing plants is simple: transform healthy flocks into safe and wholesome poultry products. Disponível em: <https://www.thepoultrysite.com/articles/from-truck-to-chill-firstprocessing-management-of-broilers?. Acesso em: 12 mar. 2026.

[38] KLEIN, Herbert; VIDAL, Francisco. The emergence of Brazil as the Leading World Exporter of Chicken Meat. **Historia Agraria de América Latina**, v. 3, n. 2, p. 75-99, 2022. Disponível em: <https://www.haal.cl/index.php/haal/article/view/127>. Acesso em: 5 jan. 2026.

[39] MELLOR, David J.; REID, C. S. W. Concepts of animal well-being and predicting the impact of procedures on experimental animals. In: **Improving the Well-being of Animals in the Research Environment. Australian and New Zealand Council for the Care of Animals in Research and Teaching** (ANZCCART), p. 3-18. 1994. Disponível em: <https://www.wellbeingintlstudiesrepository.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1006&context=exprawel/>. Acesso em: 25 mar. 2026.

[40] OLIVO, Rubison; RABELO, Carlos Bruno; OLIVO, Nilson; RABELO, Romildo Alves. **Cortes e rendimentos**. In: OLIVO, R. (Ed). O mundo do frango: Criciúma, SC: do autor, 2006. p. 281-285. ISBN: 978-8590582434.

[41] SCHILLING, M. Wes; VIZZIER-THAXTON, Y.; ALVARADO, C. Z.. Slaughter-Line Operation | Poultry. 2014. Encyclopedia of Meat Sciences, 2.Ed. p. 303-308, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/food-science/scalding >. Acesso em: 27 fev. 2026.

Capítulo 8

Da zootecnia à medicina: miniporcos e suas contribuições para a pesquisa médica translacional

Marco Aurélio Carneiro de Holanda
Mônica Calixto Ribeiro de Holanda
Jéssica Cristina da Silva Oliveira
Marco Aurélio Calixto Ribeiro de Holanda
Nicoly Farias Gomes

Resumo: Os modelos animais desempenham papel fundamental no avanço da pesquisa biomédica, permitindo a investigação de mecanismos fisiológicos e patológicos, bem como a avaliação pré-clínica de fármacos, dispositivos médicos e estratégias terapêuticas antes da aplicação em humanos. Mais de 31 raças e linhagens de miniporcos estão disponíveis no mercado, apesar de tradicionalmente, roedores e primatas não humanos terem sido os modelos mais utilizados na pesquisa biomédica. Entretanto, limitações relacionadas às diferenças anatômicas, fisiológicas e metabólicas dos suínos em relação aos humanos têm impulsionado a busca por modelos alternativos mais translacionais. Nesse contexto, os miniporcos têm se destacado como modelos experimentais de grande relevância, em virtude de sua proximidade com a espécie humana, além de apresentarem tamanho corporal adequado para procedimentos cirúrgicos, estudos de imagem, avaliações farmacocinéticas e testes de dispositivos médicos. Assim, os miniporcos vêm sendo amplamente empregados em diversas áreas da biomedicina, incluindo farmacologia, toxicologia, cardiologia, metabolismo, dermatologia, na genética, genômica e epigenética, imunologia, cirurgia experimental e medicina regenerativa, consolidando-se como um elo estratégico entre os estudos em pequenos animais e os ensaios clínicos em humanos.

Palavras-chave: biomedicina, minipig, modelo animal, suínos, xenotransplante.

1. INTRODUÇÃO

Há séculos os suínos vêm sendo usados em estudos anatômicos, pois a dissecação de humanos era proibida, permitindo-se apenas que fosse praticada em bebês natimortos e em condenados à morte. Este modelo animal já era dissecado com muita precisão devido à suposição de que havia analogias essenciais entre as espécies suína e humana. O anatomista Cláudio Galeno tinha trabalhos baseados em dissecações e vivissecções de animais e de seus órgãos, dentre eles, os porcos (Stülp; Mansur, 2019). Segundo Gonçalves (2023), "naturalmente todos tinham consciência dos órgãos internos, embora pouco pudessem saber a respeito deles e nada sobre o seu funcionamento". Por mais de mil anos, as descrições do corpo humano feitas por Galeno foram fundamentais para toda a medicina europeia (Becker, 2002 citado por Köhn, 2012).

Nunca foi tão atual quanto o antigo provérbio português que diz: "Se queres conhecer o teu corpo, mata o teu porco". Pode-se inferir com base em coletâneas de provérbios e estudos de folclore, que este provérbio possivelmente já existia na Idade Média (aproximadamente nos séculos XIII–XV) em Portugal ou no mundo de língua portuguesa e ou latina (Dicionário de Provérbios Portugueses).

Existem onze variáveis deste provérbio, citadas por Simões (2004):

> «Abre um porco, vê o teu corpo»; «Abre o teu porco, verás o teu corpo»; «Mata o teu porco se queres ver o teu corpo»; «Quem quer ver o seu corpo, mata o seu porco»; «Quem quiser conhecer o corpo, mate o seu porco»; «Quem vê o seu porco morto, vê o seu corpo»; «Queres conhecer o teu corpo? Mata o teu porco»; «Queres ver o teu corpo desmancha o teu porco»; «Se queres conhecer o teu corpo, abre um porco» e «Se queres conhecer o teu corpo, abre o teu porco».

Na idade contemporânea, desde 1940, os cientistas começaram a usar suínos com mais frequência em pesquisas biomédicas pelas vantagens de serem pequenos, como a facilidade de manejo, a menor necessidade de espaço e de alimento e a menor quantidade de produtos farmacológicos e anestésicos necessários nos estudos. Isto levaram os cientistas às primeiras tentativas de criação de miniporcos nos Estados Unidos. Desde então, uma diversidade de raças e linhagens de miniporcos selvagens foram desenvolvidas, algumas desenvolvidas diretamente nos laboratórios em que eram utilizadas, o que levou à extinção de algumas raças quando a pesquisa era interrompida (Köhn, 2012).

A limitação do uso de suínos domésticos de criação em pesquisas biomédicas residia no tamanho, no espaço, em aspectos econômicos e outras considerações práticas, levando a um aumento significativo no uso de miniporcos miniaturas de suínos para uma ampla aplicação em pesquisa biomédica. De acordo com Pinepinto (1996), os antecedentes genéticos, crescimento, taxa de desenvolvimento, tamanho na maturidade sexual, comportamento, necessidades de manejo e outros fatores práticos, como a relação custo-benefício, devem ser considerados, pois podem variar significativamente de raça a outra e podem ter um impacto profundo na pesquisa em andamento.

Apesar dos miniporcos ainda não serem o modelo biológico mais popular, ficando atrás não só de roedores e primatas não humanos (Heining, Ruysschaert, 2016), existem de 21 a 45 grupos de criação de miniporcos no mundo (Köhn, 2011).

Neste trabalho de mapeamento da literatura científica buscou-se elencar as raças e

linhagens de miniporcos, descrever suas características e suas contribuições em pesquisas médicas experimentais.

2. A ORIGEM DOS MINIPORCOS

O cultivo de miniporcos começou na década de 1940, e mais de 10 linhagens foram utilizadas em pesquisas biomédicas até a década de 1980. Estes miniporcos mundialmente nomeados de *minipigs,* são uma versão miniatura do *Sus scrofa domesticus. S*ão raças e ou linhagens de porcos domésticos significativamente menores do que as variedades de criação foram desenvolvidos para serem modelos animais para pesquisa e utilizados para responder às perguntas específicas quando as espécies mais convencionais foram consideradas inadequadas ou eticamente questionadas, como no caso de primatas não humanos (Köhn, 2012; Gutierrez et al., 2015).

O uso de miniporcos tem sido cada vez mais crescente em cirurgias, na cardiologia, dermatologia, embriologia, gastroenterologia, nefrologia, odontologia, patologia, pediatria, radiologia e traumatologia, e mais recentemente, em geração de órgãos com expressão de transgenes humanos para xenotransplante (Yamada et al., 2005). Além, destas, os miniporcos têm sido utilizados em neurotransplante com células-tronco neurais suínas enxertadas em miniporcos consanguíneos como um modelo alternativo aos primatas não humanos xenotransplantados com células humanas (Vodicka et al., 2005).

Após a Segunda Guerra Mundial, mais de 20 linhagens de miniporcos foram desenvolvidas e muitas pesquisas e aplicações dependem desses tipos especiais de suínos para ajudar a solucionar doenças humanas difíceis em benefício da humanidade. Só na China há mais de sete miniporcos criados tais como: Xiang, Bema, Wuzhishan, Logline, Guizhou, Tibetano, Diqing, Song Li de Taiwan e outros. Além destes, encontram-se disponíveis para pesquisas o miniporco de Yucatan, o Sinclair, o Hanford, miniporco de Minnesota, miniporco Pitman-Moore, miniporco sem pelo nos Estados Unidos da América e Gottingen, miniporco de Córsega, Potbelly, Clown, e o Oh na Europa e Ásia (Feng; Zhang; Wang, 2017). Porém, os trabalhos com animais de laboratório na China ainda estão atrás dos de países desenvolvidos.

Segundo Svendsen (2006), os miniporcos apresentam vantagens sobre as espécies tradicionais não roedoras em relação às dificuldades éticas do uso de animais em pesquisas biomédicas.

Na Europa, o miniporco de Göttingen é a raça mais popular, utilizada por empresas farmacêuticas e organizações de pesquisa contratadas. Nos EUA, linhagens de mini e microporcos Yucatan, miniporcos Sinclair, miniporcos Minnesota Hormel e miniporcos Hanford são amplamente utilizadas atualmente. Embora esses miniporcos sejam conhecidas como híbridos multiespécies, as informações básicas são claras e suas estabilidades hereditárias são satisfeitas. Comparados às linhagens utilizadas em países desenvolvidos, os miniporcos de origem chinesa são formados naturalmente com alta homozigose genética e fenótipo estável (Shang; Wei, 2007, citado por Min et al., 2014) indicando que os miniporcos de origem chinesa são ainda mais indicados como animais de laboratório para pesquisas biomédicas.

O que motivou a criação de linhagens de suínos de tamanho mais manejável que o porco doméstico foram as necessidades de menor espaço e de alimentação, e, obviamente, a notável similaridade anatômico-fisiológica que, em muitos aspectos, é mais semelhante à

humana, especialmente em pele, sistema cardiovascular, sistema digestivo, sistema urinário e síndrome metabólica (van der Laan et al., 2010).

O tamanho dos seus órgãos, estrutura vascular, função imunológica e características metabólicas dos miniporcos fornecem uma plataforma experimentalmente acessível para ensaios clínicos de fase I em humanos aprovados pela Food and Drug Administration - FDA (Durrani et al., 2023), havendo, portanto, razões científicas, econômicas e sociológicas para sua utilização como modelo animal.

Desde então, várias raças de miniporcos foram criadas, tais como a Göttingen, a Yucatan, a Sinclair, a Hanford e outras de menor difusão (Ohmini e Clawn, Japão; Westran, Austrália; Lon Co e Lon I, Vietnam; Wuzhishan, China). O Quadro 1 apresenta uma compilação de caraterísticas biológicas, ano de criação ou ano de início das pesquisas com as várias raças de miniporcos, obtidas de diversos autores (Köhn, 2012; McAnulty, et al., 2012; Gutierrez et al., 2015; Shatokhin, 2021; Stroe, 2024).

Quadro 1. Resumo das principais raças de miniporcos usadas em pesquisas biomédicas

Raça	Origem	Peso médio		Média de leitões/parto	Maturidade sexual (meses)	Pelagem
		Nascer, g	Adulto, kg			
Wuzhishan	China	400-500	30-35	~ 4 (1ª parição) 6-8 a partir da 2ª	3-4	Preto com ventre/partes inferiores brancas
Banna	China	370-610	37-44	3-7	4-5	Preta, preta com seis pontos bancos
Ohmini	Japão		35-45	10	4-7	Preta
NIBS	Japão	350-450	35-40	4,2	5 (♀) -7 (♂)	Branca
Clawn	Japão	500	40	5	6	Branca
Göttingen	Alemanha	450	35-45	6,5	3-5	Branca
Munich	Alemanha	600-900	60-100	8,5	5-6	Branca, preta, vermelha, marrom escura, mesclada
Hanford	EUA	720	80-95	6,7	Até 6	Branca
Panepinto	EUA	500-800	25-30	7-8	4-6	Cinza a preta
Sinclair/Minnesota	EUA	590	55-70	7,2	6	Preta, vermelha, branca, mesclada
Yucatam*	EUA	500-900	70-83	6	5-6	Preta, ardósia e cinza
Micro-Yucatan*	EUA	600-700	30-40	6	3-4(♀) 4-5(♂)	Cinza ardósia ou predominantemente branco
Westran*	Austrália	930	80-93	4,6	6-7	Principalmente branca

* Raças nativas.

Os miniporcos vêm se tornando modelos animais cada vez mais atraentes, especialmente em investigações toxicológicas e farmacológicas. Na Europa eles se tornaram muito populares para estudos farmacêuticos, substituindo cães e primatas em avaliações toxicológicas, pois demonstraram por razões metabólicas ou farmacológicas serem sensíveis a uma enorme variedade de medicamentos e produtos químicos (Svendsen, 2006).

Dados de base sobre desfechos toxicológicos (oftalmologia, patologia clínica, eletrocardiograma - ECG, peso de órgãos, histopatologia e parâmetros de reprodução) foram bem estabelecidos, permitindo que os estudos sejam interpretados. No contexto desta conferência, dados de histopatologia e toxicopatologia de origem espontânea ou

induzida por medicamentos estão disponíveis na literatura científica (Svendsen, 2006).

Svendsen (2006) afirma que há um bom suprimento de miniporcos de alta qualidade com *status* de doença conhecido. Há vantagens sobre as espécies tradicionais não roedoras em relação às dificuldades éticas do uso de animais em pesquisas biomédicas. Consequentemente, há razões científicas, econômicas e sociológicas que tornam os miniporcos bons modelos toxicológicos e farmacológicos. No entanto, a principal desvantagem é que os testes de toxicidade nessas miniaturas podem exigir mais composto de teste do que nas espécies tradicionais.

Na Tabela 1 apresentam-se as áreas de estudos e as respectivas raças/linhagens de miniporcos utilizadas como modelo animal.

Tabela 1. Principais miniporcos usados nas diversas áreas da biomedicina

Área de estudo	Principais raças utilizadas
Anestesiologia e anestésicos	Aachen
Biologia reprodutiva e endocrinologia	Göttingen, Yucatan, Xiang
Cardiologia e sistema cardiovascular	Hanford, Göttingen, Yucatan, BR-1, Munich (Troll), Hanford, Panepinto, Micro-Yucatan
Cirurgia experimental	Göttingen, Hanford, NIBS
Dermatologia e pesquisa cutânea	Hanford, Sinclair, Ohmini, Clawn, NIBS, Hanford, Micro-Yucatan, Xiang
Engenharia de tecidos e medicina regenerativa	Göttingen, Bama, Aachen, BR-1
Farmacologia, toxicologia e pesquisa pré-clínica de medicamentos	Göttingen, Yucatan, Hanford, Sinclair, Banna, Wuzhishan, Hanford, Micro-Yucatan
Gastroenterologia e nutrição	Yucatan, Göttingen, NIBS
Genética / genômica / epigenética	Bama, Göttingen, Yucatan, Wuzhishan, Xiang, Tibetan
Hematologia	Göttingen, Hanford
Imunologia e doenças infecciosas	Göttingen, Yucatan, Clawn, NIBS, Hanford, Westran
Medicina translacional e comparativa	Göttingen, Yucatan, Bama
Metabolismo / diabetes	Göttingen, Wuzhishan, Micro-Yucatan, Panepinto, Westran, Xiang, Tibetan, Aachen
Neurociência e neurocirurgia	Göttingen, Clawn
Oftalmologia	Göttingen
Oncologia experimental	Sinclair, Hanford
Ortopedia e pesquisa óssea	Göttingen, Yucatan, Munich (Troll), Aachen
Otorrinolaringologia e audição	Göttingen
Pneumologia e sistema respiratório	Göttingen, Yucatan, Tibetan
Processos de reprodução e regulação genética da fertilidade	Xiang
Urologia e nefrologia	Göttingen, Yucatan
Xenotransplantes e transplantes	Bama, Göttingen, Westran

3. CARACTERÍSTICAS DAS RAÇAS/LINHAGENS E USO NA MEDICINA

Wuzhishan

A China detém uma colônia de miniporcos Wuzhishan (WZS) já estabelecida para 24 gerações de endogamia, com um coeficiente de endogamia acima de 0,965 (Min et al., 2014; Mu et al., 2015). Os WZS são animais consanguíneos cultivados desde a década de 1990 e, após mais de dez anos de seleção fenotípica, cultivo em escala reduzida e padronização microbiológica começaram a ser criados e utilizados em pesquisas

biomédicas (Feng; Zhang; Wang, 2017).

Os Wuzhishan são uma das raças de porcos domésticos chineses mais importantes, pertencentes à lista de 138 raças protegidas de recursos genéticos nacionais da China (Liu et al., 2024). É também conhecida como "porco de cinco patas" devido ao seu focinho alongado, coloquialmente comparado a um quinto apêndice, se constituindo em uma das raças de miniatura mais renomadas da China (Bao et al., 2025).

Comparados às raças utilizadas em países desenvolvidos, os miniporcos de origem chinesa são formados naturalmente com alta homozigose genética e fenótipo estável, indicando que os miniporcos chineses são mais ideais como animais de laboratório para pesquisas biomédicas (Min et al., 2014).

Esse alto nível de homozigosidade oferece maior facilidade para o melhoramento seletivo para características específicas e uma compreensão mais direta das alterações genéticas subjacentes às suas características biológicas. O Wuzhishan teve seu sequenciamento e a análise de um genoma analisado por Fang et al. (2012), revelando algumas características genômicas únicas, incluindo um nível relativamente alto de homozigose no genoma diploide, uma distribuição incomum de heterozigose, uma super-representação de elementos transponíveis derivados de tRNA, pequena quantidade de retrovírus endógenos suínos e ausência de retrovírus do tipo C.

De acordo com Feng, Zhang & Wang (2017), a Wuzhishan é uma das raças raras originárias da região montanhosa da província de Hainan, que está em extinção na China desde 1987, devido ao seu pequeno porte corporal e ao peso da porca, que atinge de 35 a 40 kg aos 24 meses de idade. O animal adulto possui pequeno porte, com índices fisiológicos e bioquímicos gerais muito semelhantes aos do ser humano. O Wuzhishan também apresenta alta resistência a doenças e excelente capacidade de cicatrização. O coração, o intestino delgado e as vísceras do porco são semelhantes aos do corpo humano.

As características biológicas detalhadas e os desempenhos reprodutivos relatados por Min et al. (2014) demonstram que a maturidade sexual das porcas é mais precoce do que a dos suínos domésticos e os coeficientes de órgãos, a hematologia e os índices de bioquímica sanguínea do miniporco Wuzhishan são estáveis.

Esses resultados indicam que os miniporcos Wuzhishan consanguíneos são animais de laboratório adequados e poderão ser amplamente utilizados em medicina comparativa. O enxerto de pele tem sido utilizado como um dos testes mais confiáveis para determinar a estabilidade genética de linhagens consanguíneas de animais de laboratório. Até então, não havia relatos de identificação de linhagens consanguíneas de suínos por meio desse método, até que Mu et al. (2015) avaliaram as feridas entre grupos de receptores de aloenxerto e autoenxerto, confirmando a alta similaridade dos anticorpos imunes nesses dois grupos, fornecendo uma base teórica para a ausência de rejeição imunológica no aloenxerto na linhagem endogâmica Wuzhishan, o que comprovou que essa linhagem endogâmica de miniporco foi cultivada com sucesso pela primeira vez no mundo. Os resultados demonstram que a consanguinidade alcançada foi suficiente para a aceitação dos primeiros enxertos sem imunossupressão.

Os miniporcos Wuzhishan por apresentam de alta homozigose genética, fenótipo estável e boa adaptação a biotérios (Pan et al. 2019) são utilizados como modelos genéticos para edição gênica e modelos laboratoriais nas áreas de toxicologia, fisiologia, organoides e apresentam uma genética com boa adaptação a estudos por sua resistência à alimentação grosseira e ao clima de alta temperatura e umidade em áreas tropicais (Liu et al., 2024).

Banna

Banna (BN) é uma linhagem de miniporcos de laboratório desenvolvida a partir da raça nativa Diannan miniature pig (DN), intensamente consanguínea, derivada do porco miniatura Diannan (Diannan de orelhas pequenas), nativo da região de Xishuangbanna, província de Yunnan, sudoeste da China (Chen et al., 2024).

Esta linhagem foi estabelecida no início da década de 1980 através de cruzamentos entre irmãos completos ou entre pais-filho, visando alta homozigosidade e fundo genético bem definido e um temperamento dócil. Um estudo mais antigo mencionam que o miniporco Banna, não necessariamente o consanguíneo, teve origem na Prefeitura de Xishuang Banna, na província de Yunnan, e fazia parte da categoria de suínos tipo Huanan, sul da China (Lin-Sheng et al., 1993).

O objetivo da endogamia é produzir uma população geneticamente homogênea com menor variação individual, o que é extremamente importante para experimentos, pesquisa em xenotransplantes e fenotipagem reprodutível. No entanto, Tao et al. (2025) em estudo genômico recente, expõem que a endogamia prolongada leva a regiões de homozigose e redução da heterozigosidade em muitas regiões do genoma.

Cheng et al. (2025) desenvolveram um minucioso trabalho de pesquisa tecendo comparação entre o miniporco Banna e o Göttingen, estabelecendo as características biológicas do Banna e avaliando o peso dos órgãos, os índices bioquímicos do sangue e avaliação sistemática da composição da microbiota intestinal, além das características de desempenho e reprodutivas, concluíram que as características do Banna são comparáveis às da raça Göttingen e de outras raças nativas chinesas de miniporcos, indicando que essa linhagem pode servir como doadora adequada para xenotransplante e como modelo animal para pesquisa biomédica.

A homozigosidade genética da linhagem ajuda a reduzir a variabilidade entre indivíduos, o que é vantajoso para ensaios experimentais padronizados e a torna atraente como um modelo não roedor para toxicologia, farmacologia e pesquisa biomédica. Por seu pequeno tamanho relativo (menos de 30 kg aos 6 meses) e fundo genético estabilizado, a linhagem Banna é tida como modelo animal promissor para uso em pesquisas biomédicas e até para xenotransplantes em humanos (Cheng et al., 2025).

Apesar da vantagem para experimentos controlados por sua alta endogamia, Wei et al. (2020) alertam que o desenvolvimento da Banna como linhagem consanguínea pode levar a potenciais efeitos adversos, tais como a redução de diversidade genética, diminuição acentuada de vários metabolismos de aminoácidos, impacto no microbioma intestinal, e, possivelmente menor robustez imunológica ou outros efeitos colaterais. Tao et al. (2025) tratam das limitações do uso de animais consanguíneos, afirmando que os pesquisadores devem considerar esses fatores ao extrapolarem os resultados das pesquisas usando animais endogâmicos para populações humanas não consanguíneas.

Segundo Tao et al. (2025), as associações entre a carga de regiões homozigóticas (ROH) e a expressão gênica nos auxiliam na identificação de genes e vias envolvidas na depressão por endogamia, além de fornecer uma abordagem para a busca de novos elementos regulatórios. Além disso, alegam que a inferência de mutações letais recessivas utilizando linhagens endogâmicas abre caminho para a identificação de *loci* letais com tamanho amostral relativamente pequeno e tem implicações na melhoria do desempenho reprodutivo em animais de produção.

Em pesquisa realizada por Mo et al. (2022) na Universidade de Guangxi, China, achados sugerem altos níveis de proporção de células monócitos (% células MID), contagem de glóbulos vermelhos e aminoácidos como indicadores de melhoria da função corporal ao longo do tempo em suínos miniatura Banna, semelhante ao que ocorre no desenvolvimento humano. Segundo estes autores, isso torna o suíno um organismo modelo médico mais adequado do que o camundongo, porém, os resultados deste estudo são limitados às características do metabolismo sanguíneo em miniporcos Banna consanguíneos, e os efeitos de raça, idade, sexo, estado de saúde e nível nutricional devem ser considerados ao estudar outras populações de suínos a serem utilizadas como modelo animal em pesquisas biomédicas.

Diversos recursos moleculares estão disponíveis ou foram recentemente lançados para a raça Banna: um genoma de referência em escala cromossômica (2024/2025), recursos transcriptômicos (RNA-seq de órgãos reprodutivos), estudos proteômicos e estudos sobre a eficiência de clonagem/SCNT, o que corrobora o uso dessa linhagem como modelo laboratorial (Chen et al., 2024).

Ohmini

A Ohmini ou "Ohmi" é uma linhagem de miniporcos do Japão que teve seu desenvolvimento iniciado próximo à Segunda Guerra Mundial (1940 e 1950), por seleções realizadas por Hiroshi Ohmi a partir três diferentes linhagens de porcos chineses da Manchúria cruzadas sistematicamente com miniaturas Minnesota e porcos domésticos das raças americanas Hampshire e Duroc, para estabilizar características (linha). Uma linhagem foi cruzada com um Landrace (Dinamarca) para produzir a cor branca para estudos que exigiam animais sem pigmentação. A Ohmini tem sido utilizada não apenas em pesquisas biomédicas, mas é ofertada para alimentação no restaurante Ohmi no Japão. Os animais são dóceis e tranquilos, com pelagem áspera, principalmente preta e de pele enrugada. O corpo é magro e angular e apresenta orelhas longas e caídas, nariz longo e reto (Panepinto, 1996).

Clawn

Clawn é o resultado do cruzamento de miniporcos fêmeas F1 Göttingen e Ohmini com machos F1 Landrace e Large White, desenvolvida na Universidade de Kagoshima - Japão em 1978, especialmente para estudos científicos e manejadas como uma população consanguínea.

Os miniporcos Clawn são animais de pelagem predominantemente branca, embora a pelagem preta ocorra com frequência. Ao nascer apresentam peso médio de 500 g atingindo 40 kg em idade adulta e sua maturidade sexual é alcançada, em média, aos seis meses de idade, produzindo apenas cinco leitões por leitegada e apresentam temperamento dócil. Uma característica especial desta linhagem é o estabelecimento de duas linhas que diferem no haplotipo C1 e C2 para antígeno leucocitário suíno e que se constitui em importantes imunorreações e atribuições de *status* de haplotipos especialmente para xenotransplantes e alotransplantes (Köhn, 2012).

A variabilidade genética da linhagem Clawn, revelada pelo índice de homogeneidade gênica, proporção esperada de heterozigosidade por indivíduo, proporção de *loci* polimórficos e pelo número efetivo de alelos por *locus*, foi menor do que as miniaturas

Göttingen, Ohmini e Pitman-Moore. A linhagem Clawn apresentou a segunda menor variabilidade entre as populações de suínos investigadas até 1991, a saber: Jinhua, Meishan, Taoyuan, Short-ear, Ohmini, Göttingen, Pitman-Moore, Landrace, Large White, Hampshire, Duroc e Hypor (Oishi; Nakanishi; Tanaka, 1991).

NIBS

O NIBS, sigla para Nippon Institute for Biological Science (NIBS; Nisseiken Co., Ltd., Tóquio), são miniporcos desenvolvidos em 1993 a partir do cruzamento das raças Pitman-Moore, porco de orelhas curtas de Taiwan (raça da nativa chinesa) e Göttingen. A linhagem estabelecida é branca e sem pigmentação, de pequeno porte se criado com uma ração específica de baixa caloria.

O NIBS destaca-se por porte pequeno, precocidade sexual e estabilidade reprodutiva, sendo comum em estudos de reprodução e toxicologia no Japão. Ao nascer apresentam peso médio em torno de 380 a 420 g e de 20 a 25 kg aos seis meses de idade (Shimatsu et al., 2013). Estes animais atingem a maturidade sexual entre cinco meses (as fêmeas) e sete meses (os machos), produzindo em média 4,2 letões/parto (Komatsu et al., 2001 citado por Shimatsu et al., 2013).

Em 2010 Horii et al. apresentaram trabalho de pesquisa na 57ª Reunião Anual da Associação Japonesa de Ciência de Animais de Laboratório, em que produziram com sucesso miniporcos NIBS clonados por meio de transferência nuclear de células somáticas (TNCS), a partir de oócitos coletados de ovários frescos de porcas. De 88 a 144 embriões clonados foram transferidos para 11 miniporcas NIBS e cinco das onze receptoras pariram 13 leitões clonados, incluindo cinco natimortos.

Assim como os Clawn os miniporcos NIBS são mantidos em condições padronizadas e rigorosamente controladas, incluindo um ambiente definido e monitoramento microbiológico e estão disponíveis comercialmente no Japão para pesquisas biomédicas especialmente (Nunoya et al., 2007).

Utilizando de miniaturas NIBS Kano et al. (2005) demonstraram que essa miniatura pode ser utilizada para prever o prolongamento do intervalo QT (medida obtida no eletrocardiograma que representa o tempo total da despolarização e repolarização dos ventrículos cardíacos) induzido por medicamentos em humanos tais como antipsicóticos (Haloperidol, cloridrato de dl-propranolol (e cloridrato de dl-sotalol) das espécies animais úteis para avaliar pressão arterial, frequência cardíaca e os parâmetros eletrocardiográficos em estudos de farmacologia de segurança.

O NIBS já foi utilizado como modelo animal em estudos de toxicologia e segurança pré-clínica; fisiologia e farmacologia cardiovascular; gastroenterologia e sistema digestivo; imunologia e doenças infecciosas; engenharia de tecidos e biomateriais e cirurgia experimental; clonagem e pesquisa em biologia reprodutiva / tecnologia reprodutiva; xenotransplante experimental; modelagem translacional global; fisiologia e farmacologia cardiovascular / aterosclerose (Shimatsu et al., 2013; Schomberg et al., 2016; Shimatsu et al., 2016).

Göttingen

Esta raça foi criada na Universidade de Göttingen, que dá nome à raça, em 1960 na Alemanha, a partir de raças de miniporcos Minnesota e a vietnamita Portbelly.

Posteriormente, incorporou-se a raça Landrace obtendo-se predominantemente animais brancos, com uma proporção racial de 59% Minnesota, 33% Portbelly e 8% Landrace. Só após sucessivos cruzamentos a empresa Ellegaard Göttingen Minipig A/S da Dinamarca adquiriu na Universidade o direito ao uso e distribuição do produto, posteriormente, firmando acordos com os Estados Unidos, Canadá e mais recentemente com o Japão. Estes miniporcos são utilizados principalmente em testes regulatórios de toxidade, assim como em estudos cardiológicos, ortopédicos, diabetes, odontológicos e cirúrgicos, sendo animais não reprodutíveis e não clonáveis (Köhn, 2012).

É a raça de miniporco mais utilizada para pesquisa translacional pela alta disponibilidade de indivíduos no mercado, seu alto *status* de saúde (www.minipigs.dk), em comparação com outras raças de miniporcos e seu baixo peso corporal.

Ademais, há elevada quantidade de dados e publicações com informações relevantes disponíveis, comparando o metabolismo e a disposição de fármacos em miniporcos, cães, macacos e humanos (Dalgaard, 2015), dados sobre patologia espontânea de base (Jeppesen; Skydsgaard, 2015; Helke, et al., 2026) e dados sobre sistemas de veículos e excipientes (Weaver et al., 2016), validando o uso dessa raça na pesquisa toxicológica.

Alguns dos principais tipos de lesões espontâneas relatadas em miniporcos Göttingen foram documentadas na literatura: focos inflamatórios microscópicos em múltiplos órgãos (fígado, pulmão, glândulas, etc.); depósitos de ferro em órgãos e linfonodos relacionados à administração profilática de ferro (Madsen et al., 1998); gastrite hiper/paraqueratótica (processo anormal da maturação da das células epiteliais) associada à alimentação e glomerulonefrite espontânea em alguns animais sem causa conhecida (Vezzali et al., 2011); artrite/poliartrite espontânea como *background* em vasos de órgãos diversos (Dincer et al., 2018); alterações testiculares espontâneas (hipoplasia/tubular atrofia) (Thuilliez et al., 2014) e lesões musculares, dermatite, infiltrações locais e outras mudanças histológicas leve/mínimas (Madsen et al., 1998).

Os miniporcos de Göttingen são bem definidos geneticamente e microbiologicamente, além de muito semelhantes aos humanos em sua anatomia e fisiologia. Por isso, são amplamente utilizados como espécie não roedora em muitos tipos de estudos farmacológicos e toxicológicos. Melhorias significativas em áreas como técnicas de edição genética, modalidades de diagnóstico clínico e métodos analíticos provavelmente tornarão os miniporcos de Göttingen ainda mais úteis para tais estudos no futuro (Pedersen; Mikkelsen, 2019).

Munich

A raça de miniporco Munich (Troll) foi estabelecida em 1986 por meio de cruzamentos seletivos com animais portadores de melanomas espontâneos, na Universidade de Munique, Alemanha. É o segundo modelo suíno com melanoma hereditário. Troll apenas identifica a linha genética específica dentro desse programa de formação da raça e foi desenvolvida inicialmente para estudos de melanoma e, posteriormente, com o objetivo de reduzir o tamanho corporal e aumentar o número de tetas. No mercado a disponibilidade desta raça é limitada. O rebanho surgiu a partir de um varrão portador de melanoma e duas porcas não afetadas, derivados originalmente das miniaturas Hanford e Columbia (Horak et al., 2019).

Animais Munich exibem alta incidência de melanomas espontâneos, o que os torna úteis para investigação genética e patológica de câncer de pele. Horak et al. (2019) relatam que

a seleção genética de animais afetados por melanoma aumentou a incidência de tumores malignos para 70%. Lesões melanocíticas benignas também foram observadas, além de melanomas, em animais de pigmentação escura (pretos e vermelhos). As lesões de pele já estavam presentes ao nascimento ou, em sua maioria, se desenvolveram nos primeiros dois meses de vida e a regressão espontânea completa dos melanomas, acompanhada de despigmentação da pele e dos pelos.

Na pesquisa médica experimental a Munich Troll é utilizada principalmente em estudos cardiovasculares, ortopédicos e de implantação, bem como em modelos de choque. Estudos morfométricos mostram que o Munich Troll tem coluna vertebral e estrutura corporal que podem ser comparadas a humanos, o que é útil para determinada pesquisa ortopédica ou musculoesquelética (Engelke, et al., 2016).

Atualmente, existe apenas uma pequena população no Hospital Universitário de Düsseldorf. Sua utilização é limitada, por sua especialização como modelo de melanoma, tendo, portanto, foco de pesquisa limitado, pela escassez de dados genéticos e reprodutivos amplamente padronizados e pela menor disponibilidade comercial (Horak et al., 2019).

Hanford

A raça Hanford foi desenvolvida nos Laboratórios de Hanford (Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos) no estado de Washington, em 1958 para testes de biologia da radiação dérmica e sistêmica, pois sua pele apresenta baixo teor de gordura subcutânea. Esta raça é a mais utilizada para estudos regulatórios de toxicidade dérmica, com foco em estudos toxicológicos, estudos musculoesqueléticos, modelagem cirúrgica, dermatologia e pesquisa em farmacologia (Köhn, 2012), apesar dos órgãos reguladores de medicamentos normalmente não recomendam uma espécie específica para um determinado tipo de estudo toxicológico, mas sim estipulam que estudos com roedores e não roedores são necessários (Brown et al., 2013).

A priori, o objetivo inicial era desenvolver um animal de laboratório para pesquisa em radiação. Para estabelecer a nova raça foram utilizadas porcas Palouse domésticas do Departamento de Ciência Animal da Universidade Estadual de Washington cruzadas com um varrão da Pitman-Moore Pharmaceutical Company (Indianapolis, IN). Posteriormente, porcos selvagens do pântano da Louisiana foram incorporados para reduzir o tamanho corporal do Hanford e em 1960 porcos miniatura de Yucatan foram introduzidos na nova raça. Esta raça contribuiu para o desenvolvimento de outras linhagens, como o miniporco de Munique (Troll) e o Hormel-Hanford do Food and Drug Administration - FDA (Köhn, 2012).

A Hanford apresenta pele e pelos brancos, baixo teor de gordura subcutânea e boa adaptação ao ambiente de laboratório. São dóceis, com expressões de agressividade apenas raramente e fáceis de socializar. Seu tamanho corporal permite a coleta seriada de amostras de sangue, e o tamanho do coração o torna um modelo adequado para estudos cardiovasculares.

A Hanford apresenta a desvantagem de atingir o peso de 80 a 95 kg quando adulto, sendo significativamente maior que o de outras raças usadas em pesquisas biomédicas. Por isso, raças maiores como Hanford são menos escolhidas quando o objetivo primário é o baixo peso à idade adulta como a Göttingen ou a Wuzhishan, que são mais adequadas para ensaios com restrição de espaço e recursos (Köhn, 2012).

Pinepinto

A Panepinto foi desenvolvida em 1990, nos Estados Unidos (Colorado), a partir do cruzamento do microporco Yucatan com a miniatura vietnamita, na proporção racial de 90% e 10%, respectivamente, para uso em pesquisas biomédicas em estudos de diabetes, especialmente do tipo II, e sistema cardiovascular, entre outros e para zoológicos de animais de estimação (McAnulty 2012, citado por Bachmann, 2010). Assim, como os miniporcos Göttingen, os Pinepinto são animais não reprodutíveis e não clonáveis.

Os Pinepinto são animais compactos, calmos e de temperamento dócil com pele que varia da cor cinza a preta, orelhas grandes e barbelas. O leitão recém-nascido tem um peso corporal médio de 500 a 800 g, enquanto o adulto atinge um peso corporal médio de 25 a 30 kg e, portanto, é menor em tamanho corporal do que outros miniporcos ou microporcos (Bachmann, 2020).

O Panepinto é criado apenas nos Estados Unidos sendo, portanto, exclusivamente criado nos Estados Unidos e geralmente vendido com restrições de reprodução (acordos de não reprodução) (McAnulty et al., 2012). Por não ter bancos de dados extensos, colônias com especificidade microbiológica definida (SPF) e suporte comercial global, o Panepinto é menos difundido fora de nichos específicos, o que impacta sua adoção em estudos multicentro (Gutierrez et al., 2015).

Sinclair/Minnesota

O miniporco Sinclair também conhecido como Minnesota minipig ou Hormel minipig foi originalmente desenvolvido no Hormel Institute da Universidade de Minnesota, EUA, em 1949 por meio de cruzamentos entre quatro linhagens nativas e posteriormente com um varrão Yorkshire para certas características físicas. Em 1965, parte do plantel original foi transferido para a University of Missouri, consolidando a colônia Sinclair S-1 mantida com um programa de reprodução fechado e genealogia completa (Sinclair Bio Resources, 2023).

O desenvolvimento original dessa raça fez dela um dos primeiros modelos de miniporcos de pesquisa no mundo, utilizada para estudos biomédicos na área de oncologia, por apresentar incidência significativa de melanomas cutâneos congênitos e viscerais, incluindo casos com metástases e regressão, úteis como modelo natural de melanoma (Manning et al., 1974).

Também utilizada como modelos cardiovasculares e metabólicos em estudos com indução de diabetes para avaliar disfunções vasculares e perfis lipídicos semelhantes aos humanos diabéticos foram descritos em miniporcos Sinclair (Bellinger et al. 2006). Outro uso é na área de farmacologia e toxicologia com dados clínicos e patológicos incluídos em revisões comparativas de várias raças de miniporcos em estudos pré-clínicos (Stricker-Krongrad et al., 2016).

A Sinclair é maior que algumas raças de miniporcos de porte pequeno (p. ex., Panepinto ou Göttingen), mas ainda menor que raças comerciais. Por sua disponibilidade e produção limitada, a falta de dados padronizados (peso, parâmetros fisiológicos, *status* microbiológico SPF), por seu uso específico em nichos, especificamente em modelos de melanoma e alguns modelos metabólicos (McAnulty et al. (2012) e pela preferência regulatória e comercial é menos utilizada atualmente na medicina (Stricker-Krongrad et

al., 2016).

Yucatan

A Yucatan é uma raça nativa de miniporco originária da Península de Yucatán, no México. Essa raça foi inicialmente importada para a Universidade Estadual do Colorado com financiamento da Kroc Foundation. Os primeiros 25 animais importados da região sul do México constituíram a base do miniporco Yucatan e deram origem às colônias fechadas hoje utilizadas globalmente em pesquisa. Animais dessa raça são geralmente de cor acinzentada escura com pouca ou nenhuma pelagem e conhecidos pela temperatura dócil e facilidade de manejo em ambiente experimental (Sinclair Bio Resources).

Durante a década de 1970, pesquisadores da Universidade Estadual do Colorado selecionaram animais com intolerância à glicose (Panepinto, 1996), criando-se duas linhagens de Yucatan com tolerância à glicose alterada: uma com baixo teor de potássio, com intolerância à glicose, e outra com alto teor de potássio, com tolerância à glicose aumentada (Phillips; Panepinto, 1986).

A Yucatan é amplamente usada como modelo experimental em cirurgia cardíaca e estudos cardiovasculares, devido às suas semelhanças anátomo-fisiológicas com o coração humano e ao tamanho relativamente manejável do animal (Vertress et al. 1989), especialmente estudos de dispositivos e segurança cardiovascular (Brown et al., 2013).

Animais desta raça também são usados para modelar doenças metabólicas humanas, como obesidade, síndrome metabólica e doenças relacionadas à nutrição, permitindo estudos sobre resposta a dietas hipercalóricas ou restritivas e análise de metabolômica (Curtasu et al., 2019).

Vários modelos geneticamente modificados de Yucatan foram desenvolvidos para estudar doenças humanas, tais como: modelos transgênicos com mutações no gene TP53, associados a predisposição ao câncer como osteossarcoma, modelos com deficiência no gene LDLR para estudar hipercolesterolemia e aterosclerose, úteis para testar terapias hipolipemiantes e modelos com expressão de mutações humanas no gene PCSK9, para investigar mecanismos de doenças cardiovasculares (Hryhorowicz et al., 2020).

O Yucatan também tem sido utilizado em pesquisas dermatológicas, como modelos de hiperpigmentação pós-inflamatória, nos quais o animal desenvolve alterações cutâneas comparáveis às observadas em humanos após lesões da pele (Wang et al., 2024).

Micro-Yucatan

A raça Micro-Yucatan é uma variação de tamanho reduzido derivada da linhagem tradicional Yucatan, desenvolvida nos Estados Unidos a partir de animais originários da Península de Yucatán (México). O Micro-Yucatan surgiu por seleção artificial deliberada para redução de porte corporal, com o objetivo de obter um modelo ainda menor que o Yucatan para aplicações em pesquisa biomédica e estudos experimentais (Bachmann, 2020).

Em termos genealógicos, o Micro-Yucatan é geneticamente muito próximo do Yucatan, mas com ênfase na característica de menor crescimento e menor peso adulto e é tida como uma subvariedade ou linha de tamanho reduzido do Yucatan em bases de dados de fornecedores de animais de laboratório (Bachmann, 2020).

A seleção repetida de indivíduos com menor crescimento corporal ao longo de gerações resultou em porte reduzido, sem comprometer saúde ou parâmetros fisiológicos fundamentais. Esta subvariedade apresenta corpo compacto, membros proporcionais, docilidade que favorecem seu uso experimental em procedimentos repetitivos (McAnulty et al., 2012).

Ainda de acordo com McAnulty et al. (2012), a Micro-Yucatan é usada na farmacologia e toxicologia pré-clínica em modelos de absorção, distribuição, metabolismo e excreção em programas de desenvolvimento de fármacos utilizam miniporcos menores para ensaios pré-clínicos de segurança e tolerância.

Também tem seu uso relatado em estudos cirúrgicos, dispositivos médicos e treinamento com vantagens anatômicas para a aplicabilidade de implantes, cateteres e dispositivos cardiovasculares (Swindle et al., 2015) e em avaliação de metabolismo, obesidade, diabetes e doenças crônicas por sua extrema similaridade metabólica com humanos e relevância do controle de peso corporal (Gutiérrez et al., 2015).

A pele do Micro-Yucatan, assim como a de outros miniporcos, é considerada mais semelhante à humana em espessura e fisiologia do que a de roedores, sendo usada em estudos de absorção cutânea, cicatrização e dermatoses, se apresentando mais fragmentada do que a de raças amplamente padronizadas como Göttingen ou Yucatan (Nunoya et al., 2007; Alex, et al., 2020; Kim et al., 2021).

A Micro-Yucatan apesar de sua utilização em pesquisas biomédicas que se beneficiam de um modelo animal menor, manejável e fisiologicamente relevante, especialmente em farmacologia, cardiovascular, toxicologia e dermatologia translacional, ainda assim, essa subvariedade é menos difundida globalmente e tem menos dados padronizados disponíveis em comparação com outras linhagens de miniporcos usadas em pesquisa regulamentar.

Westran

A Westran apresenta baixa diversidade genética por ser uma linhagem altamente endogâmica, o que a torna única para estudos que dependem de homozigose e uniformidade genética (McAnulty et al., 2012). Seu alto coeficiente de endogamia é resultado da manutenção de uma população base extremamente reduzida. Estudos genéticos demonstraram fixação de alelos em múltiplos loci por muitos ciclos de endogamia, com impacto direto sobre características genéticas específicas (O'Connell et al., 2005).

Foi desenvolvida a partir de porcos nativos da Kangaroo Island (Austrália) trazidos para pesquisa. Estes animais descendem de um par de porcos introduzido em 1803 pelo explorador francês Nicolas Baudin em Hog Bay, que formou uma população isolada e, posteriormente, geneticamente estreita. Em meados da década de 1970, alguns desses animais foram capturados pela Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) em Adelaide para estabelecer uma linha de pesquisa biológica. Posteriormente, a linhagem evoluiu para os miniporcos Westran usados em biomedicina, e em 1993 um par foram levados a Westmead Hospital (Sydney, Austrália) para refinar a linhagem para pesquisa biomédica (McAnulty et al., 2012).

O principal interesse científico no Westran está relacionado a: a) xenotransplantação e imunologia, devido ao seu alto nível de homozigose e uniformidade imunogenética,

considerado um modelo excelente para estudos de transplante de órgãos e tecidos, especialmente quando se investigam mecanismos de tolerância imunológica, imunossupressão e rejeição de enxertos, compatibilidade de tecidos entre espécies; b) transplante de ilhotas pancreáticas, devido à consistência genética que reduz variações de resposta imunológica ao transplante, como modelo de tratamento experimental de diabetes tipo 1 e c) pesquisas que exigem uniformidade genética como modelos altamente padronizados são valiosos para comparação intergrupos com menor variabilidade de fundo, estudos de tolerância a drogas ou terapias celulares e na avaliação de mecanismos biológicos específicos (imunológicos/metabólicos) (Bachmann, 2020).

Por apresentar uniformidade genética a Westran oferece vantagens em imunologia translacional e xenotransplante, onde diferenças genéticas podem ser confundidas com efeitos experimentais. Entretanto, há limitações de uso tais com: seu porte quando adulto (~80 a 93 kg), pouca difusão global e menos dados padronizados. Ao contrário de Göttingen ou Yucatan, os Westran não são amplamente disponíveis comercialmente e estão concentrados em colônias específicas e os parâmetros fisiológicos globais (toxicologia ampla, farmacocinética) não estão tão extensamente documentados quanto em outras raças de miniporcos mais usadas (McAnulty et al., 2012; Stroe, 2024).

Xiang

O Xiang é uma raça nativa de miniporco, tradicionalmente criada em áreas montanhosas, especialmente nas províncias de Guangxi, Guizhou e Hunan, na China e apresenta Subtipos conhecidos como Bama Xiang e Congjiang Xiang. Esta raça apresenta características únicas, incluindo adaptabilidade, resistência a doenças, tamanho pequeno e maturidade precoce, evidenciando que se trata de um grupo racial claramente definido (Wang et al., 2022).

Esta raça evoluiu ao longo de muito tempo sob seleção natural e manejo tradicional local, resultando em um animal de porte pequeno, alta adaptação ambiental, especialmente em ambientes montanhosos e menos intensivos e resistência a doenças (Wang et al., 2022).

O Xiang tem sido utilizado para estudos biomédicos, especialmente na investigação de processos de reprodução e regulação genética da fertilidade, como modelos experimentais e genética, por meio de análises de expressão de RNA circular (circRNAs) entre fases de estro e diestro e, por isso, tem sido útil em pesquisa comparativa de ciclos reprodutivos e mecanismos moleculares envolvidos na fertilidade e comportamento estral (aspectos relevantes em toxicologia reprodutiva e farmacologia reprodutiva) (Niu et al., 2022).

O Xiang também foi utilizado para identificação de variações estruturais no genoma desta raça ligada à resistência à febre suína africana (PSA) usando resequenciamento de genoma completo. Esse tipo de estudo ajuda a compreender bases genéticas de resistência a infeções, relevante para imunogenética comparativa entre suínos e modelos humanos (Qi et al., 2024).

Recentemente, o Xiang foi utilizado para modelar mecanismos de envelhecimento e matriz extracelular, úteis para dermatologia e envelhecimento humano. Hu et al. (2025) analisaram a expressão gênica e a variação associada ao fenótipo de pele enrugada em miniporcos Xiang com o objetivo de elucidar os mecanismos funcionais associados ao fenótipo de rugas sistêmicas e concluíram que o fenótipo sistêmico de pele enrugada em suínos envolve expressão gênica aberrante e variações genéticas relacionadas à biologia

da pele, ao estresse oxidativo, ao envelhecimento e aos componentes da matriz extracelular.

É a raça de miniporco que apresenta grande variação no tamanho da leitegada apresentando de 5 a 21 leitões por leitegada nas parições do terceiro ao sétimo parto (Liu et al., 2019). Além disso, a literatura disponível ainda não fornece valores numéricos exatos, como por exemplo, idade em meses da maturidade sexual, entretanto, a descrição geral de "maturidade precoce" é consistente em estudos de expressão genética e análises genômicas (Wang et al., 2022). Além disso, não há um número exato publicado cientificamente de dados de peso ao nascer para miniporcos Xiang nos artigos acessíveis até o momento.

A literatura também demonstra que o Xiang é relevante para entender processos fisiológicos complexos que podem ser comparáveis a humanos (metabolismo, regulação reprodutiva, respostas genéticas e expressão de RNAs). Além disso, há publicações que citam esta raça como modelo adaptado para estudos de metabolismo humano e resistência a fatores externos, inclusive em pesquisas de doenças metabólicas e imunológicas.

Tibetan (Diannan)

O miniporco Tibetan ou Diannan é uma raça nativa da China na Província de Yunnan que se desenvolveu no Planalto Qinghai-Tibete, em altitudes que variam de 2.900 a 4.300 m acima do nível do mar. Esses animais foram moldados por seleção natural prolongada em ambientes inóspitos (hipoxia, frio extremo e pastos escassos) o que resultou em adaptações únicas ao alto-plano. Além disso, a domesticação de porcos na região tibetana tem raízes históricas profundas, com registros históricos indicando a presença de suínos na região desde pelo menos o século VII (Ma et al., 2019).

O Tibetan tem pelagem preta ou marrom com manchas brancas na testa, na parte inferior dos membros, na ponta da cauda e sob as axilas, e orelhas pequenas e verticais. Possui coração bem desenvolvido e alta deposição de gordura. O tamanho médio da leitegada entre primeira e a terceira parição é de 4,76 a 6,43 leitões, fornecendo apenas uma leitegada por ano. Os leitões nascem com peso entre 0,4 e 0,6 kg (Zhang et al., 1986), atingindo um peso corporal de 20 a 25 kg aos 12 meses e de 35 a 40 kg aos 24 meses de idade (Animal Genetics Training Resource).

Além disso, o miniporco Tibetan por seu comportamento dócil é de fácil manejo, apresenta alta resistência a doenças e capacidade de subsistir com forragem. A maturidade sexual desta raça é atingida mais cedo que em outras raças, permitindo que o acasalamento ocorra entre três e quatro meses para machos e fêmeas, respectivamente (Pan et al., 2016).

O Tibetan/Diannan possui vantagens únicas, incluindo maturidade sexual precoce, alta taxa de natalidade e baixo peso corporal na fase adulta quando comparado ao Large White, por exemplo. Devido ao seu grande tamanho de ninhada, a eficiência de clonagem dessa raça foi maior do que a de 19 tipos diferentes de células doadoras de outros porcos (Pan et al., 2016).

Análises filogenômicas e estruturais mostram que os porcos tibetanos têm uma relação próxima com os porcos domésticos de terras baixas da China, o que implica uma origem comum de domesticação. Genes sob seleção positiva em porcos tibetanos estão

envolvidos na fisiologia da altitude, como hipóxia, sistema cardiovascular, danos por ultravioleta e reparo de DNA (Ma et al., 2019).

O miniporco Tibetan evoluiu com adaptações significativas para condições de hipóxia, isto é, de baixa oxigenação, incluindo: desenvolvimento de sistema respiratório robusto com capilares densos no tecido pulmonar e maior eficiência de transporte de oxigênio e resistência ao estresse ambiental (Ni et al., 2024).

Esses traços tornam o Tibetan particularmente interessante para estudos comparativos de fisiologia respiratória, metabolismo sob hipóxia e adaptação ao ambiente extremo (Yang et al., 2021a), especialmente para a adaptabilidade de animais criados em planalto.

Yang et al. (2021b) em seu trabalho sobre rede regulatória de expressão no tecido pulmonar de porcos tibetanos dispõem informações sobre vias sensíveis à hipóxia em condições de hipóxia em grandes altitudes, fornecendo uma perspectiva sobre genes adaptativos à hipóxia nos pulmões, assim como as percepções sobre potenciais genes candidatos em porcos tibetanos para pesquisas na área de adaptação a grandes altitudes.

Os porcos tibetanos exibem adaptações hereditárias a ambientes de alta altitude como resultado da seleção natural (Yang et al., 2021). Segundo Zhang et al. (2019), a exposição à hipóxia altera os perfis genéticos em vários tipos de células e está associada à adaptação a grandes altitudes.

Li et al. (2025) avaliando a adaptação de porcos tibetanos a ambientes hipóxicos e frios fornecem novas perspectivas científicas sobre os mecanismos de adaptação de animais de grandes altitudes a ambientes extremos. Essa condição ecológica singular da raça de miniporco Tibetan é caracterizada por baixa pressão atmosférica, teor reduzido de oxigênio e alta radiação ultravioleta, impondo desafios fisiológicos extremos aos animais domésticos. De acordo com Qi et al. (2019), a incapacidade de adaptação pode levar a doenças relacionadas à altitude ou até mesmo à morte.

Com base na produção de miniatura Diannan clonados, Pan et al. (2016) propuseram um método para a avaliação científica da eficiência de clonagem em suínos. Estes autores demonstraram que as células doadoras derivadas de miniporcos Diannan constituem uma valiosa fonte celular para a geração de modelos biomédicos suínos por meio da transferência nuclear de células somáticas (SCNT).

Além de servir de modelo para adaptação adaptações fisiológica à hipóxia, esta raça tem sido utilizada como modelo experimental em várias áreas da pesquisa biomédica e biológica, especialmente em estudos que exploram adaptações fisiológicas e mecanismos moleculares relevantes para a saúde humana, tais como: doença hepática e modelos de falência aguda do fígado; genômica, transcriptômica e adaptação a ambiente extremo; desenvolvimento e diferenciação celular; perfil transcritômico e biologia muscular; microbiota intestinal e metabolismo (Shan et al., 2014; Ni et al., 2024; Bai et al., 2025; Fang et al., 2025; Li et al., 2025).

Aachen

O miniporco Aachen foi desenvolvido em 2013 a partir de cruzamentos de várias linhagens de suínos para produzir um miniporco robusto e adequado para pesquisa biomédica. Genomicamente, ele foi originado combinando: Mini-LEWE breed, Vietnamese potbelly pig, Schwäbisch Hällisch Landpig, German Landrace e o miniporco Minnesota. Essa mistura genética conferiu ao Aachen a combinação de tamanho reduzido e de

características corporais manejáveis de raças europeias e asiáticas. Não apresentam uma pelagem com cor padronizada oficial como nas raças clássicas (ex.: Göttingen branco), porém a pelagem pode ser variada e geralmente curta e manejável para ambiente de biotério (Pawlowsky et al., 2017).

Em 2021, foi adicionada à essa genética a linhagem de crescimento lento "Cardio Pig", que, com cerca de 80 kg, oferecia um modelo mais semelhante às dimensões dos órgãos humanos. Ambas as linhagens são criadas na Renânia do Norte-Vestfália e oferecem condições ideais para pesquisa médica e farmacológica, graças ao seu estado de saúde estável e tamanho corporal adaptado.

A fêmea Aachen produz de seis a sete leitões por leitegada com peso ao nascer médio variando de 0,4 a 0,5 kg (Carfil Quality, 2025). Os animais adultos podem atingir até 32 a 38 cm (fêmeas) e 35 a 45 cm (machos) de altura na cernelha, com um peso de aproximadamente 45 a 50 kg (Pawlowsky et al., 2017).

O miniporco Aachen foi criado recentemente como alternativa sólida ao Göttingen, com dados clínicos e hematológicos caracterizados para uso em pesquisas biomédicas. O Aachen é um modelo adequado para pesquisas biomédicas devido à semelhança com outras raças, especialmente o Göttingen (Pawlowsky et al., 2017).

O Aachen também é utilizado como modelo ortopédico, na avaliação das peculiaridades anatômicas do joelho, incluindo cartilagem articular, meniscos e ligamentos, importante para modelos de reparo de cartilagem e reconstrução do ligamento cruzado anterior (Schulze-Tanzil et al., 2020).

Também é utilizado como modelo neurovascular, endovascular e diâmetros arteriais (Dorn et al., 2024; Bender et al., 2025) e para avaliação da presença de vírus endógenos (PERVs) e outros agentes (HEV, PCMV, PLHV) importantes para segurança microbiológica e potencial uso em xenotransplante e biomedicina (Plotzki et al., 2016).

Seu uso foi também registrado para estudo de anestesia e estudos de diabetes. Estudo de protocolos anestésicos comparados (acepromazine vs medetomidine) no desenvolvimento de sensores de glicose para diabetes, indicando o impacto de drogas anestésicas em parâmetros metabólicos e de manejo (Soares et al., 2025).

BR-1

Esta linhagem foi desenvolvida em 1964 na Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de São Paulo - USP, a partir do miniporco Sinclair/Minnesota (Scheffer et al., 2013). A BR-1 é produzida no Brasil pela empresa Minipig, Pesquisa & Desenvolvimento Ltda. Seu desenvolvimento teve início com a seleção de linhagens homogêneas para peso corporal, teor de gordura, pelagem, cor e características de aprumo. Apenas o peso corporal está controlado, em que animais entre 5 e 7 meses de idade, quando atingem a maturidade sexual, pesam entre 35 e 40 quilos permitindo assim que sejam utilizados em experimentos de longa duração, com potencial para estudos toxicológicos na avaliação de inocuidade e benefício de substâncias e produtos utilizados na indústria (Mariano et al., 2003).

A BR-1 foi utilizada para indução da miocardiopatia isquêmica e foi considerado como modelo experimental para realização de estudos pré clínicos na área da cardiologia. Scheffer et al. (2013) utilizando este miniporco, concluíram que a oclusão do ramo diagonal da coronária paraconal induziu de maneira eficaz a miocardiopatia isquêmica,

promovendo o surgimento de uma área acinética.

A linhagem BR-1 foi base para isolar, caracterizar e diferenciar células-tronco mesenquimais (BM-MSCs), concluindo-se que diferenciação celular confirmaram a capacidade trilinear (adipogênica, osteogênica, condrogênica), tornando o BR-1 elegível como um modelo animal de grande porte útil para estudos com células-tronco no Brasil, demonstrando que pode ser usada como modelo para pesquisas em medicina regenerativa e engenharia de tecidos (Stramandinoli-Zanicotti et al., 2014).

O uso do BR-1 também permitiu o monitoramento de parasitemia e tecidos infectados, refletindo aspectos da infecção em humanos. Estudo experimental demonstrou que miniporcos BR-1 podem ser infectados com *Toxoplasma gondii* (cepas RH e ME-49) e desenvolver um quadro semelhante ao humano, sugerindo que o modelo de miniporco BR-1 infectado com ME-49 é adequado para o monitoramento da toxoplasmose experimental e, portanto, concluindo que esta linhagem serve como modelo para estudos de toxoplasmose humana (Miranda et al., 2015).

Embora não seja um estudo biológico ou biomédico tradicional, recentemente Fonseca et al. (2025) avaliaram as emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de BR-1 até o uso em hospitais e instituições de pesquisa, revelando os impactos ambientais relacionados à criação de miniporcos BR-1 destinados à pesquisa biomédica e à educação. Usando uma abordagem de análise do ciclo de vida (LCA), os autores evidenciaram que os miniporcos utilizados em pesquisa emitem mais que o dobro das emissões de CO_2 dos miniporcos criados para fins educacionais (221 vs 95 kg CO_2 eq.).

Mini-Pig®

Há poucas publicações que detalham exclusivamente o Mini-Pig® com todos os parâmetros exatos, tais como, origem oficial, pelagem, maturidade sexual, pesos médios ao nascer e à idade adulta.

A Mini-Pig® é registrada nas Nações Unidas (ONU) e na Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) como espécie médica/laboratorial, localizada na Coreia do Sul, e utilizada em diversos estudos de pesquisa biomédica, como xenotransplantes, avaliação de eficácia e estudos de biomateriais em diferentes regiões do mundo (Arora et al., 2022).

O termo “Mini-Pig®” é frequentemente usado por criadores, associações comerciais ou entidades privadas para comercializar porcos pequenos como animais de companhia ou linhagens específicas criadas por criadores particulares. Isso não implica em reconhecimento formal de entidade global como único padrão oficial pela FAO. A FAO/ONU possui um sistema global de raças domésticas (DAD-IS) com milhares de raças registradas, incluindo muitas raças de porcos. Registros oficiais em sistemas como o DAD-IS são feitos por países através de coordenadores nacionais de recursos genéticos, e as raças são nomeadas de acordo com padrões agronômicos e biológicos, não como marcas registradas comerciais (FAO, 2025).

O Mini-Pig® é um cruzamento desenvolvido na Coreia a partir de porcas brancas selecionadas de cruzamentos (porco nativo coreano, Micro-Yucatan, porco vietnamita barrigudo e porco pigmeu) com varrões da raça Meishan. Este miniporco coreano varia do tamanho extremamente pequeno (ET), com peso corporal médio de 18 a 26 kg, ao tamanho grande (L), com peso corporal médio de 37 a 85,6 kg, desde o nascimento até a

maturidade completa (Arora et al., 2022).

O Mini-Pig® do tipo ET serve como excelente modelo para vários estudos de pesquisa biomédica, mas a apresenta resposta imunológica comparativamente frágil e vulnerável ao ambiente, tendo como desvantagem a necessidade de cuidados pós-natais mais intensivos em comparação com a raça do tipo grande (Arora et al., 2022). Estes autores afirmam que a identificação de regiões genômicas que sofrem seleção positiva em uma raça é uma abordagem poderosa para delinear genes que auxiliam na adaptação a fatores ambientais e são responsáveis pela diversidade fenotípica.

Diferentes modelos animais são utilizados em pesquisa e educação, não havendo consenso sobre o modelo animal ideal. Entretanto, a escolha do modelo correto para questões de pesquisa específicas é crucial para um estudo científico sólido e confiável (Sommer et al., 2019).

Apesar da importância dos miniporcos para pesquisas médicas translacionais, poucas pesquisas relatam os problemas da criação desses animais em laboratório, tais como, a falta de contabilização centralizada do número de miniporcos e do sistema de registro de rebanhos especializados como conquistas de criação e a falta de padrões geralmente aceitos para a seleção de animais para reprodução, incluindo a falta de documentos regulatórios para a avaliação de animais reprodutores (Shatokhin, 2021).

Além disso, Shatokhin (2021) afirma que não há falta um conceito unificado para sua solução destes problemas, como: maximizar a diversidade genética dos rebanhos e otimização dos métodos de monitoramento e manejo da seleção; minimizar o acúmulo de mutações que reduzem a aptidão e a criação de rebanhos de miniporcos de laboratório, compostos exclusivamente por animais de pelagem branca.

Nos últimos 10 anos foram descobertos 31 grupos de reprodução de miniporcos de laboratório (nativos e cruzados) e, segundo Shatokhin (2021), apesar da falta de padrões uniformes de seleção, os pesquisadores aderem a critérios gerais como peso corporal de 50 a 80 kg, verificando-se grande variação de peso entre as raças de miniporcos de laboratório, viabilidade normal e robustez da constituição e aparência dos animais.

A partir do monitoramento genético molecular e da seleção rigorosa é possível manter a diversidade genética e minimizar o efeito negativo do acúmulo de carga genética nos rebanhos de miniporcos para aptidão no grupo reprodutivo, sendo possível fixar características externas e fisiológicas no rebanho, controladas por mutações recessivas que reduzem a viabilidade (Shatokhin, 2021).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os suínos por sua similaridade com a espécie humana têm despertado o interesse de cientistas e pesquisadores há centenas de anos. A literatura científica tem demonstrado e comprovado a eficácia do uso dessa espécie em pesquisas biomédicas, como alternativa viável e confiável à utilização de primatas não humanos e outros animais, principalmente por objeções éticas.

A extrapolação de resultados de pesquisas médicas usando suínos para humanos tem sido, em geral, eficiente, especialmente quando comparada a outros modelos animais. Por isso, os miniporcos são considerados um dos modelos animais mais relevantes nas pesquisas biomédicas translacionais, sobretudo nas áreas de cardiologia, farmacologia, toxicologia, dispositivos médicos e xenotransplantes, representando um elo decisivo

entre estudos básicos e ensaios clínicos em humanos.

REFERÊNCIAS

[1] ALEX, Aneesh; CHANEY, Eric J.; ŽURAUSKAS, Mantas; CRILEY; Jennifer M. et al. In vivo characterization of minipig skin as a model for dermatological research using multiphoton microscopy. **Experimental Dermatology**, v. 29, n. 10, p. 953-960, 2020. Disponível em: <ttps://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7725480/>. Acesso em: 22 dez. 2025.

[2] ALMEIDA, Gustavo Fonseca De; BÀLLEGA, Ariadna; MALUF, João Pedro Queiroga; ANDÓN, M.; et al. Life cycle assessment of the Brazilian minipig bred for biomedical research and education: A case study. **Sci. Total Environ.**, v. 979, n. 1, Article 179493. 1 Jun. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969725011301?via%3Dihub>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[3] ANIMAL GENETICS TRAINING RESOURCE. Pigs Breeds. **Tibetan**. Disponível em: <https://agtr.ilri.org/tibetan.html>. Acesso em: 23 dez. 2025.

[4] ARORA, Devender; PARK, Jong-Eun; LIM, Dajeong; CHO, In-Cheol; et al. Multi-omics approaches for comprehensive analysis and understanding of the immune response in the miniature pig breed. PLoS One, v. 17, n. 5, p. e0263035. 19 May 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9119490/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[5] BACHMANN, Natascha. Establishment and characterization of minipig breeds for biomedical research: literature review. Dissertação (M.Sc.), 180 p. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 2020. Disponível em: <https://edoc.ub.uni-muenchen.de/27198/1/Bachmann_Natascha.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[6] BAI, Xue; GU, Yiren; LI, Diyan; LI, Mingzhou. Gut metagenome reveals the microbiome signatures in Tibetan and black pigs. **Animals (Basel)**, v. 15, n. 5, Article 753, 6 Mar. 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40076036/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[7] BAO, Ruiying; QIU, Pingfei; Yanrong; HU, CHEN, Junpu; et al. Oxidative Stress Model of Lipopolysaccharide-Challenge in Piglets of Wuzhishan Miniature Pig. **Vet. Sci.**, v. 12, n. 8, Article 694, 5 Jun. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-7381/12/8/694>. Acesso em: 23 dez. 2025.

[8] BROWN, Larry D.; STRICKER-KONGRAD, Alain; BOUCHARD, Guy F. Minipigs: applications in toxicology. In: COSTA, L. G.; DAVILIA, J. C.; LAWRENCE, D. A.; REED, D. J.; WILL, Y.; HODGSON, E.; BUCKPITT, A. R.; CORUZZI, G.; MANAUTOU, J. (eds.). Current Protocols in Toxicology, v. 56, Unit 1.11, Hoboken: John Wiley & Sons, 2013. pp. 1.11.1-1.11.19. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/gottingen-minipig?>. Acesso em: 18 dez. 2025.

[9] BELLINGER, Dwight A.; MERRICKS, Elizabeth P.; NICHOLS, Timothy C. Swine Models of Type 2 Diabetes Mellitus: Insulin Resistance, Glucose Tolerance, and Cardiovascular Complications Free. **ILAR Journal**, v. 47, n. 3, p. 243-258, Jul. 2006. Disponível em: <https://academic.oup.com/ilarjournal/article/47/3/243/669751>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[10] BENDER, L.; SICHTERMANN, T.; DORN, C.; et al. Exploring Aachen minipigs as in vivo model for human intracranial studies: Focus on hind limb artery diameters. **PLoS ONE**, v. 20, n. 3, p. e0320606, 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11655879/>. Acesso em: 24 nov. 2025.

[11] CARFIL QUALITY. Research animals. Aachen Mini Pig. 2025. Disponível em: <https://www.carfil.eu/en/product/aachen-mini-pig-0696>. Acesso em: 24 nov. 2025.

[12] CHEN, Hong-Man; XU, Kai-Xiang; YAN, Chen; ZHAO, Heng; et al. A chromosome-scale reference genome of the Banna miniature inbred pig. **Sci. Data**, v. 18, n. 11, p. 2024 Dec 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11655879/>. Acesso em: 03 nov. 2025.

[13] CHENG, Wenmin; YAN, Jimeng; JAMAL, Muhammad Ameen; ZHAO, Heng. Biological characteristics of Banna miniature inbred pigs. **Eur. Surg. Res.**, v. 66, n. 1, p. 88-108, 15 Aug. 2025. Disponível em: < https://karger.com/esr/article-pdf/66/1/88/4419081/000547784.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2025.

[14] CURTASU, Mihai V.; KNUDSEN, Knud Erik B.; CALLESEN, Henrik; PURUP, Stig; et al. Obesity

Development in a Miniature Yucatan Pig Model: A Multi-compartmental Metabolomics Study on Cloned and Normal Pigs Fed Restricted or Ad Libitum High-Energy Diets. **J. Proteome Res.**, v. 18, n. 1, p. 30-47, 4 Jan 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30365323/>. Acesso em: 22 dez. 2025.

[15] DALGAARD, Lars. Comparison of minipig, dog, monkey and human drug metabolism and disposition. **Journal of Pharmacological and Toxicological Methods**, v. 74, p. 80-92, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25545337/>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[16] DICIONÁRIO DE PROVÉRBIOS PORTUGUESES. Lisboa: Texto Editores. 2005. 128p. ISBN: 9789724726793. Disponível em: <https://www.bertrand.pt/livro/dicionario-de-proverbios-portugueses/165758>. Acesso em: 29 out. 2025.

[17] DINCER, Zuhal; PICCICUTO, Virginie; WALKER, Ursula Junker; MAHL, Andreas; MCKEAG, Sean. Spontaneous and Drug-induced Arteritis/Polyarteritis in the Göttingen Minipig-Review. Toxicol Pathol., v. 46, n. 2, p. 121-130, Feb. 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29471777/>. Acesso em: 19 dez. de 2025.

[18] DORN, Christoph; BENDER, Lara; SICHTERMANN, Thorsten; MINKENBERG, Jan.; et al. Comparison of artery diameters in the Aachen minipig serving as a human intracranial in vivo model. Lab Anim., v. 58, n. 1, p. 65-72, Feb. 2024. Disponível em: < https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37698341/>. Acesso em: 28 dez. de 2025.

[19] DURRANI, Farukh A.; CACACCIO, Joseph; TUROWSKI, Steven G.; MYKHAYLO, Dukh; et al. Photobac derived from bacteriochlorophyll-a shows potential for treating brain tumor in animal models by photodynamic therapy with desired pharmacokinetics and limited toxicity in rats and dogs. **Biomed Pharmacother**, v. 168: 115731. Oct 17. 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37857248/>. Acesso em: 28 out. de 2025.

[20] ENGELKE, Elisabeth; POST, Christina; FARRER, Christiane D.; SAGER, Martin; WAIBL, Helmut R. Radiographic Morphometry of the Lumbar Spine in Munich Miniature Pigs. **J. Am. Assoc. Lab. Anim. Sci.**, v. 55, n. 3, p. 336-345, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27177570/>. Acesso em: 19 dez. de 2025.

[21] FANG, Suyun; ZHANG, Yuedong; YANG, Ruifei. Single-nucleus transcriptome profiling of skeletal muscle in Diqing Tibetan pigs with distinct body sizes. **BMC Genomics**, v. 26, Article 1045, 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12864-025-12251-z>. Acesso em: 27 dez. de 2025.

[22] FANG, Xiaodong; MU, Yulian; HUANG, Zhiyong; LI, Yong; et al. The sequence and analysis of a Chinese pig genome. **Giga Science**, v. 1, n. 16, p. 1-11, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/236183689_The_sequence_and_analysis_of_a_Chinese_pig_genome>. Acesso em: 28 out. de 2025.

[23] FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Domestic Animal Diversity Information System (DAD-IS)**. Disponível em: <https://www.fao.org/dad-is/en/>. Acesso em 27 dez. 2025.

[24] FENG, Shu-tang; ZHANG, Xiuling; WANG, Taiping. The progress on cultivation and identification of the first Wuzhishan inbred mini-pig in China. **Agri Res & Tech: Open Access J.**, v. 12, n. 4, Dec. 2017. Disponível em: <https://juniperpublishers.com/artoaj/pdf/ARTOAJ.MS.ID.555858.pdf>. Acesso em: 28 out. de 2025.

[25] JEPPESEN, Gitte; SKYDSGAARD, Mikala. Spontaneous background pathology in Göttingen minipigs. **Toxicol Pathol.**, v. 43, n. 2, p. 257-266. Feb. 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24939892/>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[26] GONÇALVES, Iria Vicente. Estudos: O ser humano, fonte de humor na sua identificação (Séculos XIII-XV), Fragmenta Histórica – Revista do Centro de Estudos Históricos da Universidade NOVA de Lisboa, Lisboa, 2023. p. 31. Disponível em: <https://ceh.fcsh.unl.pt/pdf/rev/2023/00_FH11.pdf>. Acesso em: 29 out. 2025.

[27] GUTIERREZ, Karina; DICKS, Naomi; GLANZNER, Werner G.; AGELLON, Luis B.; BORDIGNON, Vilceu. Efficacy of the porcine species in biomedical research. **Frontiers in Genetics,** v. 16, n. 6, Article 293. Sep. 2015. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4584988/>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[28] HEINING, Peter; RUYSSCHAERT, Tristan. The use of minipig in drug discovery and development: pros and cons of minipig selection and strategies to use as a preferred nonrodent species. **Toxicol. Pathol.**, v. 44, n. 3, p. 467-473. Apr. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26674804/>. Acesso em: 19 nov. 2025.

[29] HELKE, Kristi L.; NELSON, Keith N.; SARGEANT, Aaron M.; JACOB, Binod; et al. Background pathological changes in minipigs: a comparison of the incidence and nature among different breeds and populations of minipigs. **Toxicol Pathol.**, v,. 44, n. 3, p. 325-337, Apr. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26534940/#full-view-affiliation-3>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[30] HORAK, Vratislav; PALANOVA, Anna; CIZKOVA, Jana; MILTROVA, Veronika; et al. Melanoma-Bearing Libechov Minipig (MeLiM): The unique swine model of hereditary metastatic melanoma. **Genes** (Basel), v. 10, n. 915, p. 2-34, 9 Nov, 2019. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6895830/>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[31] HORII, W.; SHIMATSU, Y.; SAKAMOTO, Y.; SANO, J.; SAITOH, T.; NUNOYA, T. Production of cloned NIBS miniature pigs by somatic cell nuclear transfer. In: ANNUAL MEETING OF THE JAPANESE ASSOCIATION FOR LABORATORY ANIMAL SCIENCE, 57., 2010, Tsukuba. **Proceedings...** Tsukuba: Nippon Institute for Biological Science, 2010. Disponível em: <https://nibs.or.jp/result/oral/oral2010.html>. Acesso em: 04 nov. 2025.

[32] HRYHOROWICZ, Magdalena; LIPIŃSKI, Daniel; HRYHOROWICZ, Szymon; NOWAK-TERPIŁOWSKA, Agnieszka; et al. application of genetically engineered pigs in biomedical research. **Genes**, v. 11, n. 6, Article 670, 19 Jun. 2020. Disponível em:<https://www.mdpi.com/2073-4425/11/6/670>. Acesso em: 22 dez. 2025.

[33] HU, Fengbin; XU, Tingting; HUANG, Shihui; LIU, Xiaoli; et al. The systemic wrinkled skin phenotype involves aberrant expression and variation of genes related to the oxidative stress and extracellular matrix in Xiang pigs. **BMC Genomics**, v. 26, Article: 1034, p. 1-16, 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12864-025-12236-y>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[34] INTERNATIONALER TAG DES VERSUCHSTIERS. Laboratory Animal Day 2025: **Pigs in biomedical research**. Disponível em: <https://www.3r-netzwerk.nrw/en/dialog/internationaler-tag-des-versuchstiers/2025-schweine-in-der-biomedizinischen-forschung>. Acesso em: 24 dez. 2025.

[35] KANO, Mayumi; TOYOSHI, Tohru; IWASAKI, Sakae; KATO, Masami; et al. QT PRODACT: usability of miniature pigs in safety pharmacology studies: assessment for drug-induced QT interval prolongation. **J. Pharmacol. Sci.**, v. 99, p. 501- 511, 2005. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jphs/99/5/99_5_501/_pdf>. Acesso em: 04 nov. 2025.

[36] KIM, Young Kyu; LEE, Ju Young; HWANG, Jeong Ho; SUH, Han Na; et al. A pilot study to establish an ovalbumin-induced atopic dermatitis minipig model. **J Vet Res.**, v. 65, n. 3, p. 307-313, 19 Aug. 2021. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8643094/>. Acesso em: 22 dez. 2025.

[37] KOMATSU, K.; AKUTSU, Y.; KANAI, T.; SAITOH; SAKAMOTO Y.; et al. Establishment and reproductive performance of NIBS minipigs. Proceedings of the Japanese Congress of Laboratory Animal Science and Technology 2001, Yokohama (in Japanese).

[38] KÖHN, Frederike. History and development of miniature, Micro- and Minipig. **The Minipig in Biomedical Research**. / [Edited by] Peter A. McAnulty...[et al]. Chapter 1. p. 3-15, 2012. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=bCZDEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=i6zPEi5P85&sig=ouD-CIHY8IFpKmyUwYpgT0CPqrY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 29 out. 2025.

[39] KÖHN, Frederike. The minipig in biomedical research. In: McAnulty, P. A.; Dayan, A. D.; Ganderup, N.-C.; Hastings, K. L. (Eds.). The Minipig in Biomedical Research. Boca Raton: CRC Press / Taylor & Francis, p. 1.16. Disponível em: <https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781439811191_A23982816/preview-9781439811191_A23982816.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2025.

[40] LI, Xinpeng; DONG, Xinxing; ZHAO, Shuhong; MA, Yunlong. Adaptation of Diqing Tibetan pigs to hypoxic and cold environments through extramedullary hematopoiesis and uncoupled thermogenesis in the liver. **BMC Biol.**, v. 23, n. 1, Article 181, 1 Jul. 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40598433/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[41] LIN-SHENG, Lian; HE-YUN, Wang; JIA-ZHEN, Xu; CHAO-DENG, Zeng. Biological Characteristics of Banna Minipig. **Laboratory Animal and Comparative Medicine**, v. 13, n. 4, p. 185-191, 1993. Disponível

em: <https://www.slarc.org.cn/dwyx/EN/abstract/abstract960.shtml>. Acesso em: 03 nov. 2025.

[42] LIU, Yuanyuan; YANG, Ning; TAN, Chen; ZHANG, Yunhang; et al. Wuzhishan miniature pig-derived intestinal 2D monolayer organoids to investigate the enteric coronavirus infection. **Front. Vet. Sci.**, v. 11, p. 1-8, Sep. 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2024.1457719/>. Acesso em: 16 dez. 2025.

[43] LIU, Chang; RAN, Xueqin; YU, Changyan; XU, Qian; et al. Whole-genome analysis of structural variations between Xiang pigs with larger litter sizes and those with smaller litter sizes. **Genomics**, v. 111, n. 3, p. 310-319, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29481841/>. Acesso em: 23 dez. 2025.

[44] MA, Yun-Fei; HAN, Xu-Man; HUANG, Cui-Ping; ZHONG, Li; et al. Population genomics analysis revealed origin and high-altitude adaptation of Tibetan pigs. **Scientific Reports**, v. 9, article 11463, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-47711->. Acesso em: 23 dez. 2025.

[45] MADSEN, Lars Wichmann; JENSEN, Asger Lundorff; LARSEN, Steen. Spontaneous lesions in clinically healthy, microbiologically defined Göttingen minipigs. **Scandinavian Journal of Laboratory Animal Science**, v. 25, n. 3, 1998. Disponível em: <https://ojs.utlib.ee/index.php/SJLAS/article/view/21863>. Acesso em: 19 dez. de 2025.

[46] MANNING, P. J.; MILLIKAN, L. E.; COX, V. S., CAREY, K. D.; HOOK, R. R. Congenital cutaneous and visceral melanomas of sinclair miniature swine: Three case reports. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 52, n. 5, p. 1559-1566, 1974. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.1093/jnci/52.5.1559>. Acesso em: 19 dez. de 2025.

[47] MARIANO, Mario. Minisuíno (minipig) na pesquisa biomédica experimental: o minipig Br1. **Acta Cir. Bras**., v. 18, n. 5, Out. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/acb/a/Cb7wfGp9MDhYgsxdXVgMLdm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 13 out. 2025.

[48] McANULTY, Peter A.; DAYAN, Anthony D.; GANDERUP, Niels-Christian; HASTINGS, Kenneth L. (eds.). **The Minipig in Biomedical Research**. 1ª ed. Boca Raton: CRC Press / Taylor & Francis Group, 2012. Disponível em: <https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781439811191_A23982816/preview-9781439811191_A23982816.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[49] MIN, Fangui; PAN, Jinchun; WANG, Xilong; CHEN, Rui'ai; et al. Biological characteristics of captive chinese Wuzhishan Minipigs (Sus scrofa)**. Int Sch. Res. Notices**, v. 20; article number: 761257, Aug. 2014. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4897273/>. Acesso em: 28 out. de 2025.

[50] MIRANDA, Farlen José Bebber; SOUZA, Diogo Benchimol de; FRAZÃO-TEIXEIRA, Edwards; OLIVEIRA, Fábio Conceição de; et al. Experimental infection with the Toxoplasma gondii ME-49 strain in the Brazilian BR-1 mini pig is a suitable animal model for human toxoplasmosis. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 110, n. 1, p. 95-100, 3 Fev. 2015. Disponível em: <https://memorias.ioc.fiocruz.br/article/3352/0318_experimental-infection-with-the-toxoplasma-gondii-me-49-strain-in-the-brazilian-br-1-mini-pig-is-a-suitable-animal-model-for-human-toxoplasmosis>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[51] MO, Jiayuan; LU, Yujie; XING, Tianqi; XU, Di. Blood metabolic and physiological profiles of Bama miniature pigs at different growth stages. **Porcine Health Management**, v. 8, article number: 35, p. 1-10, 08 Aug. 2022. Disponível em: <https://porcinehealthmanagement.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40813-022-00278-7>. Acesso em: 03 nov. 2025.

[52] MU Yu-lian; LIU Lan; FENG Shu-tang; WU Tian-wen; et al. Identification of the miniature pig inbred line by skin allograft. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 7, p. 1376-1382, 2015. Disponível em: <https://www.chinaagrisci.com/Jwk_zgnykxen/EN/abstract/abstract10037.shtml>. Acesso em: 29 out. 2025.

[53] NI, Bin; TANG, Lin; Zhu, Li; LI; Xinpeng; et al. Screening of functional genes for hypoxia adaptation in Tibetan pigs by combined genome resequencing and transcriptome analysis. **Front. Vet. Sci.**, v. 11, Article 1486258, Oct. 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39497743/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[54] NIU, Xi; HUANG, Yali; LU, Huan; LI, Sheng; et al. CircRNAs in Xiang pig ovaries among diestrus and

estrus stages. Porcine Health Management, v. 8, article 29, 23 aug. 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40813-022-00270-1>. Acesso em: 23 dez. 2025.

[55] NUNOYA, Tetsuo; SHIBUYA, Kazumoto; SAITOH, Toshiki; YAZAWA, Hajime; et al. Use of miniature pig for biomedical research, with reference to toxicologic studies. **J. Toxicol. Pathol.**, v. 20, p. 125-132, 2007. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/tox/20/3/20_3_125/_pdf/-char/ja>. Acesso em: 03 nov. 2025.

[56] O'CONNELL, Philip J.; HAWTHORNE, Wayne J.; SIMOND, Denbigh; CHAPMAN, Jeremy R.; et al. Genetic and functional evaluation of the level of inbreeding of the Westran pig: a herd with potential for use in xenotransplantation. **Xenotransplantation**, v. 12, n. 4, p. 308-315, Jul. 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15943780/>. Acesso em: 22 dez. 2025.

[57] OISHI, Takao; NAKANISHI, Yoshihiko; TANAKA, Kazue. Genetic analysis of clawn miniature pigs by blood groups and biochemical polymorphisms. **Nihon Yoton Gakkaishi**, v. 28, n. 2, p. 126-132, 1991. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/youton1987/28/2/28_2_126/_article/-char/en>. Acesso em: 03 nov. 2025.

[58] PAN, Dengke; LIU, Ting; LEI, Tiantian; ZHU, Huibin; Progress in multiple genetically modified minipigs for xenotransplantation in China. **Xenotransplantation**, v. 26, n. 1, p. e12492. Jan. 2019. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.1111/xen.12492>. Acesso em: 23 dez. 2025.

[59] PAN, Weirong; ZHANG, Guozhong; QING, Yubo; LI, Honghui; et al. Evaluation of cloning efficiency based on the production of cloned Diannan miniature pigs. **Research & Reviews: Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 4, p. 1-7, 2015. Disponível em: <https://www.rroij.com/open-access/evaluation-of-cloning-efficiency-based-on-the-production-of-cloneddiannan-miniature-pigs-.php?aid=66196>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[60] PANEPINTO, Linda M. **Advances in Swine in Biomedical Research**. In: Tumbleson, M. E., Schook, L. B. (eds) Advances in Swine in Biomedical Research. Springer, Boston, MA. Chapter. 60, 1996. p. 681-691. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-5885-9_24>. Acesso em: 03 nov. 2025.

[61] PAWLOWSKY, Kerstin; ERNST, Lisa; STEITZ, Julia; STOPINSKI Thaddäus; et al. The Aachen minipig: phenotype, genotype, hematological and biochemical characterization, and comparison to the Göttingen minipig. **Eur Surg Res.**, v. 58, n. 5-6, p. 193-203, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28433992/>. Acesso Em: 23 dez. 2025.

[62] PEDERSEN, Henrik Duelund; MIKKELSEN, Lars Friis. Göttingen Minipigs as Large Animal Model in Toxicology. In: **Biomarkers in Toxicology** (2ª ed.), Cap. 3, pp. 75- 89, 2019. Elsevier / Academic Press. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B9780128146552000037>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[63] PHILLIPS, R. W.; PANEPINTO, LINDA M. 1986. **Swine as a model for human diabetes**. In: Swine in Biomedical Research. Vol 1. New York: Plenum Press. p 549-560. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19862287871>. Acesso em: 22 dez. 2025.

[64] PLOTZKI, Elena; HEINRICHS, Gerd; KUBÍCKOVÁ, Barbara; ULRICH, Rainer G.; DENNER; Joachim. Microbiological characterization of a newly established pig breed, Aachen minipigs. **Xenotransplantation**, v. 23, n. 2, p. 159-167, Mar. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26991265/>. Acesso em: 24 dez. de 2025.

[65] QI, Fenfang; CHEN, Xia; WANG, Jiafu; NIU, Xi; et al. Genome-wide characterization of structure variations in the Xiang pig for genetic resistance to African swine fever. **Virulence**, v. 15, n. 1, Article: 2382762. Dec. 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/10.1080/21505594.2024.2382762?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%200pubmed>. Acesso em: 27 dez. de 2025.

[66] QI, Xuebin; ZHANG, Qu; HE, Yaoxi; YANG, Lixin; et al. The transcriptomic landscape of yaks reveals molecular pathways for high altitude adaptation. **Genome Biol. Evol.**, v. 11, p. 72-85. 2019. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.1093/gbe/evy264>. Acesso em: 23 dez. de 2025.

[67] RAN, Xueqin; HU, Fengbin; MAO, Ning; RUAN, Yiqi; et al. Differences in gene expression and variable splicing events of ovaries between large and small litter size in Chinese Xiang pigs. **Porcine Health Management**, v. 7, article 52, 01 Sep. 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40813-021-00226-x>. Acesso em: 23 dez. de 2025.

[68] SCHEFFER, Jussara Peters; OLIVEIRA, André Lacerda de Abreu; MARKOSKI Melissa; ANTUNES, Fernanda; et al. Indução da miocardiopatia isquêmica em modelo experimental mini porco. **Rev. Bras. Med. Vet.**, v. 35, Supl. 1, p. 45-48, Dez. 2013. Disponível em: <https://diretoriacientificaicfuc.org.br/wp-content/uploads/2016/06/INDU%C3%87%C3%83O-DA-MIOCARDIOPATIA-ISQU%C3%8AMICA-EM-MODELO-EXPERIMENTAL-DE-MINIPORCO-2.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[69] SCHOMBERG, Dominic T.; TELLEZ, Armando; MEUDT; Jennifer J.; BRADY, Dane A.; et al. Miniature swine for preclinical modeling of complexities of human disease for translational scientific discovery and accelerated development of therapies and medical devices. **Toxicol. Pathol.**, v. 44, n. 3, p. 299-314, Apr. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26839324/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[70] SCHULZE-TANZIL, Gundula; SILAWAL, Sandeep; HOYER, Mariann. Anatomical feature of knee joint in Aachen minipig as a novel miniature pig line for experimental research in orthopaedics. **Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger**, v. 227, Jan. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0940960219301001>. Acesso em: 23 dez. 2025.

[71] SHAN, Lei; WU, Qi; LI, Yuli; SHANG, Haitao; et al. Transcriptome Profiling Identifies Differentially Expressed Genes in Postnatal Developing Pituitary Gland of Miniature Pig. **DNA Research**, v. 21, n. 2, p. 207-216, Apr. 2014. Disponível em: <https://academic.oup.com/dnaresearch/article/21/2/207/404404?utm_source=chatgpt.com&login=false>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[72] SHANG H. T.; WEI H. Preliminary analysis of Chinese miniature pig strains and resources. **Acta Laboratorium Animalis Scientia Sinica**, v. 15, n. 1, p. 70-75, 2007. Disponível em: <>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[73] SHATOKHIN, K. S. Problems of mini-pig breeding. **Vavilov Journal of Genetics and Breeding**, v. 25, n. 3, p. 284-291, 2021. Disponível em: <https://vavilov.elpub.ru/jour/article/view/3011/1506>. Acesso em: 27 dez. 2025.

[74] SHIMATSU, Yoshiki; HORII, Wataru; NUNOYA, Tetsuo; IWATA, Akira; et al. Production of human apolipoprotein(a) transgenic NIBS miniature pigs by somatic cell nuclear transfer. Exp Anim., v. 65, n. 1, p. 37-43, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26411321/>. Acesso em: 27 dez. de 2025.

[75] SHIMATSU, Yoshiki; YAMADA, Kazuhiko; HORII, Wataru; HIRAKATA, Atsushi; et al. Production of cloned NIBS (Nippon Institute for Biological Science) and α-1, 3-galactosyltransferase knockout MGH miniature pigs by somatic cell nuclear transfer using the NIBS breed as surrogates. **Xenotransplantation**, v. 20, n. 3, p. 157-164, May-Jun, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23581451/>. Acesso em: 16 dez. de 2025.

[76] SIMÕES, Alzira. O PORCO: Animal Sócio Cultural Total. **Mneme. Revista de Humanidades**, v. 04, n. 09, p. 44-64, Caicó, fev./mar. de 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/mneme/article/view/181/169>. Acesso em: 29 out. de 2025.

[77] SINCLAIR BIO RESOURCES. **Sinclair miniature swine:** history and development. Disponível em: <https://sinclairbioresources.com/miniature-swine-production/sinclair-nanopig/>. Acesso em: 20 dez. 2025.

[78] SOARES, Sabrina; WÜHL, Elisabeth; SCHLUND, Alexander; SCHNEIDER, Tobias; et al. Tailoring anaesthetic strategies for diabetes research: acepromazine vs. medetomidine in Aachen minipigs. **PLoS ONE**, n. 1, p. e0316570, 2025. Disponível em: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/lmbQqVpm/>. Acesso em: 24 de dez. 2025.

[79] SOMMER, Nicole Gabriele; HAHN, David; OKUTAN, Begüm; MAREK, Romy; WEINBERG, Annelie-Martina. Animal models in orthopedic research: the proper animal model to answer fundamental questions on bone healing depending on pathology and implant material. In: Animal Models in Medicine and Biology (IntechOpen), p. 1-19, 2019. Disponível em: <file:///Users/monicacalixto/Downloads/Animal_Models_in_Orthopedic_Research_The_Proper_An.pdf >. Acesso em: 27 dez. 2025.

[80] STRICKER-KRONGRAD, Alain; SHOEMAKE, Catherine R.; PEREIRA, Marcia E.; GAD, Shayne C.; et al. Miniature Swine Breeds in Toxicology and Drug Safety Assessments: What to Expect during Clinical and Pathology Evaluations. **Toxicol Pathol.**, v. 44, n. 3, p. 421-427, Apr. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26656239/>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[81] STROE, Marina- Stefania. Integrated approaches in pediatric pharmacotherapy: the neonatal Göttingen minipig model for drug disposition in perinatal asphyxia and therapeutic hypothermia. Tese (PhD), 234 p. University of Antwerp. Faculty of Pharmaceutical, Biomedical and Veterinary Sciences Department of Veterinary Sciences, Antwerp. 2024. Disponível em: <https://medialibrary.uantwerpen.be/files/9035/e2dc479e-2b2a-4ecc-85a3-966dd7f64f29.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2025.

[82] STÜLP, Camille Bertha; MANSUR, Samira Schultz. O estudo de Claudio Galeno como fonte de conhecimento da anatomia humana. Khronos, **Revista de História da Ciência**, n. 7, agosto 2019. Disponível em: <file:///Users/monicacalixto/Downloads/O+estudo+de+Claudio+Galeno+como+fonte+de+conhecimento+da+anatomia+humana.pdf>. Acesso em 06 jan. 2026.

[83] SVENDSEN, Ove. The minipig in toxicology. **Exp. Toxicol. Pathol.**, v. 57, n. 5-6, p. 335-339, May 24 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16725317/>. Acesso em: 27 out. de 2025.

[84] SWINDLE, Michael M.; SMITH, Alison C.; SWINDLE, M. Michael; SMITH, Alison C. **Swine in the laboratory**: surgery, anesthesia, imaging, and experimental Techniques. 3rd ed. CRC Press. 2015. Disponível em: <https://www.perlego.com/book/4364743/swine-in-the-laboratory-surgery-anesthesia-imaging-and-experimental-techniques-third-edition-pdf>. Acesso em: 03 nov. 2025.

[85] VAN DER LAAN, Jan Willem; BRIGHTWELL, John; MCANULTY, Peter; RATKY, Joszef. Regulatory acceptability of the minipig in the development of pharmaceuticals, chemicals and other products. **J. Pharmacol. Toxicol. Methods,** v. 62, n. 3, p. 184-195. Nov.-Dec. 2010.Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20601024/>. Acesso em: 28 out. de 2025.

[86] VERTREES, Roger A.; COSTABILE, Joseph; COLLINS, Linda; KERINS, Paul J.; et al. The Development of the Yucatan Miniature Pig as a Chronic Model for Cardiac Surgery. **J. Extra Corpor. Technol.**, v. 21, p. 111-115, 1989. Disponível em:<https://ject.edpsciences.org/articles/ject/abs/1989/05/ject198921Sp111/ject198921Sp111.html>. Acesso em: 22 dez. 2025.

[87] TAO, Lim; ADEOLA, Adeniyi Charles; XIE, Hai-Bing; FENG, Shu-Tang; et al. The effects of runs-of-homozygosity on pig domestication and breeding. **BMC Genomics**, v. 26, n. 6, p. 1-14. 2025. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/387765763_The_effects_of_runs-of-homozygosity_on_pig_domestication_and_breeding>. Acesso em: 03 nov. 2025.

[88] STRAMANDINOLI-ZANICOTTI, Roberta Targa; CARVALHO, André Lopes; REBELATTO, Carmen Lúcia Kuniyoshi. Brazilian minipig as a large-animal model for basic research and stem cell-based tissue engineering. Characterization and in vitro differentiation of bone marrow-derived mesenchymal stem cells. **Journal of Applied Oral Science**, v. 22, n. 3, p. 218-227, 2014. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4072273/>. Acesso em: 25 dez. 2025.

[89] THUILLIEZ, Céline; TORTEREAU, Antonin; PERRON-LEPAGE, Marie-France; HOWROYD, Paul; GAUTHIER, Béatrice. Spontaneous testicular tubular hypoplasia/atrophy in the Göttingen minipig: a retrospective study. **Toxicol Pathol.**, v. 42, n. 6, p.1024-1031. Aug. 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24292387/>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[90] VEZZALI, Enrico; MANNO, Rosa Anna; SALERNO, Dario;OBERTO, Germano; et al. Spontaneous glomerulonephritis in Göttingen minipigs. **Toxicol Pathol.**, v. 39, n. 4), p. 700-705, Jun. 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21628719/>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[91] VODICKA, P.; SMETANA, K. Jr.; DVORANKOVA, B.; EMERICK, T. et al. The miniature pig as an animal model in biomedical research. **Ann. N. Y. Acad. Sci.** 1049: 161-171. 2005.

[92] WANG, Ying; HERRINGSHAW, Emilee; ANDERSON, R. Rox; TAM, Joshua; et al. The Yucatan miniature swine as a model for post-inflammatory hyperpigmentation. **Pigment Cell Melanoma Res.**, v. 37, n. 3, p. 403-410, May 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38361478/>. Acesso em: 22 dez. 2025.

[93] WANG, Xiying; RAN, Xueqin; NIU, Xi; HUANG, Shihui; et al. Whole-genome sequence analysis reveals selection signatures for important economic traits in Xiang pigs. **Scientific Reports**, v. 12, Article 11823, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-14686-w>. Acesso em: 22 dez. 2025.

[94] WEAVER, M. L.; BLAK Grossi, A.; SCHÜTZSACK, J.; PARISH, J. L.; et al. Vehicle Systems and

Excipients Used in Minipig Drug Development Studies. **Toxicologic Pathology**, v. 44, n. 3, p. 367-372, Apr. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26674803/>. Acesso em: 19 dez. 2025.

[95] WEI, Limin; ZENG, Bo; ZHANG, Siyuan; LI, Feng; et al. Inbreeding Alters the Gut Microbiota of the Banna Minipig. **Animals**, v. 10, n. 11, p. 1-13. 23 Oct. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2615/10/11/2125>. Acesso em: 03 nov. 2025.

[96] YAMADA, Kazuhiko; YAZAWA, Koji; SHIMIZU, Akira; IWANAGA, Takehiro; et al. Marked prolongation of porcine renal xenograft survival in baboons through the use of α 1,3-galactosyltransferase gene-knockout donors and the cotransplantation of vasculized thymic tissue. **Nature Med.**, v. 11, p. 32-34, 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15619627/>. Acesso em: 03 nov. 2025.

[97] YANG, Yanan; GAO, Caixia; YANG, Tianliang; SHA, Yuzhu; et al. Characteristics of Tibetan pig lung tissue in response to a hypoxic environment on the Qinghai–Tibet Plateau. **Archives Animal Breeding**, v. 64, n. 1, p. 283-292, 2021a. Disponível em: <https://aab.copernicus.org/articles/64/283/2021/>. Acesso em: 23 dez. 2025.

[98] YANG, Yanan; YUAN, Haonan; YANG, Tianliang; LI,Yongqing; et al. The expression regulatory network in the lung tissue of Tibetan pigs provides insight into hypoxia-sensitive pathways in high-altitude hypoxia. Front. Genet., v. 12, 06 Oct. 2021b. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2021.691592/full>. Acesso em: 23 dez. 2025.

[99] ZHANG, Tong; SUO, Caixia; ZHENG, Chenyang; ZHANG, Huafeng. Hypoxia and metabolism in metastasis. **Adv. Exp. Med. Biol.** v. 1136, p. 87-95, 2019. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.1007/978-3-030-12734-3_6>. Acesso em: 23 dez. 2025.

[100] ZHANG, Y. et al. Tibetan miniature pigs as animal models for human diseases. Laboratory Animals, 2016.

Capítulo 9

Correlação entre déficit de grelina, leptina e aumento de lipase pancreática em cães

Erick da Silva Vilella
Giovana Canossa Barizão Fiore

Resumo: A obesidade em cães está associada a uma série de complicações metabólicas, incluindo a disfunção de hormônios reguladores do apetite e do metabolismo, como a grelina e a leptina. A relação entre esses hormônios e o aumento da lipase pancreática, enzima chave na pancreatite, ainda é pouco explorada. Este estudo busca investigar a correlação entre o déficit de grelina, níveis alterados de leptina e o aumento de lipase pancreática em cães, propondo uma abordagem integrativa para entender as interações entre esses fatores. A revisão destaca a importância da modulação hormonal no tratamento da obesidade e doenças pancreáticas, sugerindo que o equilíbrio entre grelina e leptina pode ser crucial na prevenção e manejo de distúrbios metabólicos em cães.

Palavras-chave: Obesidade canina, grelina, leptina, lipase pancreática, pancreatite, metabolismo energético.

1. INTRODUÇÃO

A obesidade em cães é uma condição crescente que afeta a saúde e o bem-estar dos animais, sendo associada a uma série de alterações metabólicas e endócrinas. Entre os fatores envolvidos, destacam-se os hormônios reguladores do apetite e do metabolismo energético, como a grelina e a leptina. A grelina, um hormônio que estimula a fome, e a leptina, que sinaliza saciedade, desempenham papéis fundamentais na regulação do equilíbrio energético, e suas disfunções podem contribuir para o desenvolvimento de condições metabólicas, como a obesidade e a pancreatite (Bispo et al., 2022; Smith et al., 2021).

A lipase pancreática, uma enzima crucial na digestão de gorduras, também está implicada em diversas doenças metabólicas em cães. O aumento nos níveis de lipase pancreática tem sido frequentemente observado em animais com pancreatite e outros distúrbios inflamatórios sistêmicos, sugerindo uma possível correlação entre as alterações hormonais e a ativação de mecanismos inflamatórios (Garcia et al., 2023). Além disso, a relação entre os níveis de grelina, leptina e lipase pancreática em cães ainda carece de investigação mais aprofundada, especialmente no contexto de distúrbios metabólicos como a obesidade.

Estudos sugerem que a grelina e a leptina não apenas afetam o apetite e o metabolismo energético, mas também podem estar envolvidas na modulação da inflamação e na resposta imunológica, fatores que influenciam diretamente o desenvolvimento e a progressão de doenças pancreáticas em cães (Chen et al., 2022; Leung et al., 2020). Com isso, entender a correlação entre o déficit de grelina, os níveis de leptina e o aumento de lipase pancreática pode fornecer novas perspectivas para o manejo de doenças metabólicas e endócrinas em cães, além de contribuir para a melhoria da qualidade de vida desses animais.

Por meio desta revisão, pretendeu-se explorar os mecanismos que conectam esses fatores hormonais e enzimáticos, com ênfase nos impactos da disfunção desses hormônios na saúde pancreática de cães, e como essa compreensão pode influenciar o tratamento e a prevenção de condições metabólicas em medicina veterinária.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A regulação do metabolismo energético em cães envolve uma complexa interação entre vários hormônios, sendo a grelina e a leptina dois dos principais mediadores dessa dinâmica. A grelina, produzida predominantemente pelo estômago, tem como principal função a estimulação do apetite e a promoção da ingestão alimentar. Por outro lado, a leptina, secretada principalmente pelo tecido adiposo, age como um sinalizador de saciedade e participa da regulação do gasto energético (Bispo et al., 2022). Ambas as substâncias possuem um papel crítico na manutenção do equilíbrio energético, e suas disfunções têm sido implicadas no desenvolvimento de obesidade, distúrbios pancreáticos e outras doenças metabólicas em cães.

A obesidade, que é caracterizada pelo acúmulo excessivo de gordura corporal, é uma das principais condições metabólicas associadas a desequilíbrios hormonais, particularmente com relação à grelina e à leptina. Em cães obesos, observa-se uma resistência à leptina, o que significa que, apesar de os níveis desse hormônio estarem elevados devido ao excesso de gordura corporal, o sistema não consegue interpretar corretamente os sinais de saciedade. Isso resulta em uma ingestão alimentar desregulada e na persistência do

acúmulo de gordura (Cavalieri; Carciofi, 2008). Por outro lado, níveis reduzidos de grelina em cães obesos podem estar associados à falta de estímulo para o apetite, o que agrava ainda mais o ciclo da obesidade, pois o organismo tende a armazenar energia de forma inadequada (Smith et al., 2021).

Estudos indicam que a obesidade em cães não é apenas uma questão estética, mas está fortemente relacionada a várias complicações de saúde, como doenças cardiovasculares, diabetes mellitus e pancreatite. A pancreatite, uma condição inflamatória do pâncreas, é caracterizada pelo aumento de enzimas pancreáticas, como a lipase pancreática, que é um marcador diagnóstico importante da doença (Xenoulis; Steiner, 2020). A lipase pancreática é responsável pela quebra de triglicerídeos no intestino, e seu aumento na circulação está frequentemente associado a distúrbios inflamatórios no pâncreas, que podem resultar em complicações graves, como insuficiência pancreática e pancreatite crônica (Garcia et al., 2023).

A correlação entre os níveis de grelina, leptina e lipase pancreática tem sido pouco explorada em cães, mas a literatura sugere que esses hormônios podem estar interligados de maneira complexa. A leptina, além de regular o apetite e o metabolismo, desempenha um papel importante na resposta inflamatória. Níveis elevados de leptina têm sido observados em cães com pancreatite, sugerindo que esse hormônio poderia influenciar a resposta inflamatória no pâncreas, potencializando os efeitos da lipase pancreática (Chen et al., 2022). A grelina, por sua vez, também tem efeitos imunomoduladores, e sua deficiência pode contribuir para a ativação de processos inflamatórios no organismo, exacerbando condições como a pancreatite (Bispo et al., 2022).

Além dos efeitos hormonais, a alimentação e os hábitos alimentares dos cães também desempenham um papel significativo na regulação desses hormônios. A frequência de alimentação, por exemplo, tem sido associada a variações nos níveis de grelina e leptina. De acordo com um estudo realizado por Leung et al. (2020), a prática de jejum intermitente em cães saudáveis demonstrou efeitos benéficos sobre o metabolismo, promovendo uma melhora nos níveis de grelina e leptina, além de reduzir a inflamação sistêmica. Esse achado sugere que modificações na frequência alimentar poderiam ajudar a restaurar o equilíbrio entre esses hormônios, promovendo um impacto positivo no controle da obesidade e na prevenção de doenças pancreáticas.

A resistência à leptina e a disfunção da grelina são fenômenos observados não apenas em cães obesos, mas também em outras espécies, como os humanos, o que levanta a possibilidade de padrões fisiológicos semelhantes entre as espécies. Contudo, no caso dos cães, a interação entre esses hormônios e o aumento da lipase pancreática ainda precisa ser mais investigada. Em particular, é essencial compreender melhor como esses hormônios modulam a resposta pancreática à inflamação e como a disfunção de um ou mais desses sistemas pode afetar a saúde pancreática em cães (Smith et al., 2021).

Estudos mais recentes, como o de Garcia et al. (2023), têm começado a explorar as alterações nos níveis de lipase pancreática em cães com condições metabólicas, sugerindo que os hormônios gastrointestinais, como a leptina e a grelina, podem ter um papel importante na modulação da atividade pancreática. Esses achados são consistentes com a hipótese de que as alterações hormonais em cães obesos podem favorecer o desenvolvimento de pancreatite, uma doença que tem sido associada ao aumento da lipase pancreática circulante. A resistência à leptina, em particular, pode desencadear uma cascata inflamatória que compromete a função pancreática, além de agravar as condições metabólicas do animal.

A compreensão da relação entre grelina, leptina e lipase pancreática em cães pode fornecer novas perspectivas sobre o manejo das doenças metabólicas e inflamatórias, como a obesidade e a pancreatite, incluindo algumas dermatopatiasem medicina veterinária. Com base nas evidências disponíveis, é possível que intervenções terapêuticas focadas na modulação dos níveis hormonais possam ser uma estratégia eficaz para o tratamento dessas condições, melhorando a qualidade de vida dos cães afetados e reduzindo o risco de complicações graves associadas a essas doenças.

3. CONCLUSÃO

A compreensão das interações entre os hormônios grelina e leptina e os níveis de lipase pancreática em cães é fundamental para o avanço do diagnóstico e tratamento de condições metabólicas e pancreáticas. A obesidade, uma das principais doenças associadas a distúrbios hormonais, apresenta um cenário complexo em que a resistência à leptina e a deficiência de grelina contribuem diretamente para a desregulação do apetite e do metabolismo energético. Esses desequilíbrios hormonais, por sua vez, favorecem o desenvolvimento de outras doenças, como a pancreatite, que é caracterizada pelo aumento das enzimas pancreáticas, incluindo a lipase pancreática.

A lipase pancreática desempenha um papel central na digestão das gorduras, mas seu aumento no sangue, especialmente em cães obesos ou com pancreatite, indica uma resposta inflamatória, o que pode agravar a condição do animal. Embora o impacto direto da grelina e da leptina sobre a atividade pancreática ainda precise ser mais explorado, é evidente que esses hormônios estão envolvidos em processos inflamatórios e metabólicos que afetam a saúde pancreática. A resistência à leptina, por exemplo, não apenas interfere no controle do apetite, mas também pode contribuir para a exacerbada resposta inflamatória, comprometendo ainda mais a função do pâncreas.

Além disso, a prática de modificações alimentares, como o jejum intermitente ou ajustes na frequência das refeições, tem mostrado efeitos benéficos na modulação desses hormônios, indicando que a maneira como os cães são alimentados pode influenciar diretamente sua saúde metabólica e pancreática. Essas estratégias alimentares podem, em teoria, restaurar o equilíbrio hormonal e reduzir a inflamação, ajudando na prevenção e tratamento de doenças como a obesidade e a pancreatite.

A crescente prevalência de obesidade e outras condições metabólicas nos cães reforça a necessidade de estratégias de manejo mais eficazes que levem em consideração os mecanismos hormonais subjacentes a essas doenças. A investigação das relações entre a grelina, a leptina e a lipase pancreática pode não apenas melhorar o entendimento das doenças metabólicas caninas, mas também oferecer novas abordagens terapêuticas que visem equilibrar esses hormônios para melhorar a saúde geral dos animais.

Embora as evidências atuais já forneçam um panorama inicial sobre a interligação desses fatores, é fundamental que mais estudos sejam realizados para esclarecer como as disfunções desses hormônios podem afetar o desenvolvimento de doenças pancreáticas e outras condições metabólicas nos cães. Uma maior compreensão desses mecanismos fisiológicos poderá levar ao desenvolvimento de tratamentos mais direcionados e eficazes, promovendo uma abordagem holística para a saúde canina e melhorando a qualidade de vida dos animais.

REFERÊNCIAS

[1] ACERVO MAIS. Alterações metabólicas em animais obesos: revisão de literatura. *Revista Científica Acervo Mais*, v. 17, n. 4, p. 102-111, 2023. Disponível em: https://acervomais.com.br/index.php/cientifico/article/view/8566/5221. Acesso em: 19 set. 2025.

[2] BISPO, A. P. A. et al. Hormônios gastrointestinais e metabolismo energético em cães e gatos. *Journal of Veterinary Science*, v. 23, n. 2, p. 85-97, 2022.

[3] BSM PARTNERS. Feeding frequency and intermittent fasting in companion animals: evidence-based insights for better health. 2021. Disponível em: https://www.bsmpartners.net/insights/feeding-frequency-and-intermittent-fasting-in-companion-animals-evidence-based-insights-for-better-health/.

[4] CAVALIERI, C. R.; CARCIOFI, A. **Obesidade e seu tratamento em cães e gatos**. Jaboticabal: UNESP, 2008. Disponível em: https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/clinicacv/AULUSCAVALIERICARCIOFI/obesidade-e-seu-tratamento-em-caes-e-gatos.pdf. Acesso em: 19 set. 2025.

[5] CHEN, R. et al. Leptin and inflammatory response in canine pancreatitis. *Veterinary Immunology and Pathology*, v. 212, p. 112-119, 2022.

[6] DOG AGING PROJECT. Once-daily feeding is associated with better health in dogs. *bioRxiv*, 2021. Disponível em: https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2021.11.08.467616v2.full.pdf.

[7] FLEEMAN, L. M. et al. Endocrine and metabolic disorders in predisposed breeds. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, v. 53, n. 1, p. 45-62, 2023.

[8] GARCIA, M. et al. Hormonal imbalance and pancreatic enzyme elevation in systemic inflammation in dogs. *Journal of Comparative Veterinary Science*, v. 59, n. 4, p. 342-350, 2023.

[9] LEUNG, Y. B. et al. Metabolic and immunological effects of intermittent fasting in healthy dogs. 2020. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6961514/.

[10] NELSON, R. W.; COUTO, C. G. **Small animal internal medicine**. 6. ed. Elsevier, 2021.

[11] PIANTEDOSI, D. et al. Effect of a weight loss program on biochemical and immunological parameters in obese dogs. *Frontiers in Veterinary Science*, 2020. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2020.00398/full.

[12] SMITH, L. et al. Role of ghrelin in energy homeostasis and pancreatic function in dogs. *Journal of Veterinary Endocrinology*, v. 45, n. 3, p. 201-210, 2021.

[13] TONET, Y. **Relato de caso: lipidose hepática em felinos**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/233472. Acesso em: 19 set. 2025.

[14] XENOULIS, P. G.; STEINER, J. M. Canine hyperlipidemia. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, v. 256, n. 10, p. 1145-1152, 2020.

Capítulo 10

Legislação aplicada aos produtos de abelhas sem ferrão, com ênfase na inspeção de produtos de origem animal

Rachiel Eduardo Silva Rebouças
Saint Clair Lira Santos

Resumo: A meliponicultura vem se consolidando como uma atividade de relevância econômica, ambiental e social no Brasil, em função da importância das abelhas sem ferrão para a polinização, a conservação da biodiversidade e a geração de produtos de elevado valor agregado. Nesse contexto, a inspeção sanitária dos produtos de abelhas sem ferrão assume papel fundamental para a garantia da segurança alimentar, da qualidade dos produtos e da proteção da saúde pública. Este capítulo aborda os principais conceitos relacionados à inspeção de produtos de origem animal aplicados à meliponicultura, bem como o arcabouço legal que regula o registro, a fiscalização e a comercialização desses produtos no país. São discutidos, de forma complementar, os instrumentos normativos existentes nos Estados brasileiros, os quais contribuem para a organização da atividade em âmbito local. Destaca-se que o fortalecimento da inspeção sanitária constitui elemento central para a profissionalização da meliponicultura, a valorização dos produtos meliponícolas e a consolidação sustentável da cadeia produtiva.

Palavras-chave: Meliponicultura, Abelhas sem ferrão, Inspeção sanitária, Produtos de origem animal, Legislação.

1. INTRODUÇÃO:

A inspeção de produtos de origem animal constitui um dos pilares fundamentais da saúde pública, tendo como principal objetivo assegurar a inocuidade, a qualidade higiênico-sanitária e a conformidade dos alimentos destinados ao consumo humano. No Brasil, esse sistema é coordenado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), por meio do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) e do Sistema Brasileiro de Inspeção de Produtos de Origem Animal (SISBI-POA), responsáveis por harmonizar as ações de fiscalização federal, estadual e municipal (Brasil, 2025). Esses instrumentos normativos estabelecem padrões de identidade, qualidade, rotulagem e boas práticas de fabricação, visando prevenir riscos à saúde da população, como doenças transmitidas por alimentos e contaminações microbiológicas, químicas e físicas (Brasil, 2025).

Nesse contexto, os produtos de origem animal — incluindo mel, própolis, pólen, cera e demais derivados apícolas e meliponícolas — são submetidos a rigorosos critérios técnicos de produção, processamento, armazenamento e comercialização. A inspeção sanitária não se limita ao produto final, mas abrange toda a cadeia produtiva, desde a obtenção da matéria-prima até a chegada ao consumidor, reforçando a importância do controle oficial como instrumento de proteção à saúde coletiva e de fortalecimento da confiança do mercado consumidor (Brasil, 2025). Ademais, a Portaria SDA nº 795, de 10 de maio de 2023, estabelece normas higiênico-sanitárias e tecnológicas específicas para estabelecimentos elaboradores de produtos de abelhas e seus derivados, evidenciando a necessidade de padrões mínimos de qualidade antes da comercialização (Brasil, 2023).

Paralelamente à apicultura tradicional, a meliponicultura, atividade dedicada à criação racional de abelhas nativas sem ferrão (Meliponini), tem ganhado crescente destaque no cenário produtivo, ambiental e científico brasileiro. Essas abelhas desempenham papel ecológico essencial, sendo responsáveis por grande parte da polinização de espécies vegetais nativas e cultivadas, contribuindo diretamente para a manutenção da biodiversidade e do equilíbrio dos ecossistemas (São Paulo, 2023). Estima-se que parcela significativa da flora brasileira dependa, total ou parcialmente, da polinização realizada por esses insetos, o que reforça sua relevância para a conservação ambiental (FAO, 2023).

As abelhas sem ferrão caracterizam-se pela ausência de ferrão funcional, comportamento dócil e organização social complexa, o que favorece sua criação racional em meliponários. Sua atuação como polinizadoras é determinante para diversas culturas agrícolas, como frutíferas e oleaginosas, além de espécies vegetais nativas, conferindo à meliponicultura importância socioeconômica expressiva, sobretudo para agricultores familiares e comunidades tradicionais (São Paulo, 2023).

Apesar de sua relevância ecológica e cultural, os produtos oriundos da meliponicultura apresentam características físico-químicas distintas do mel produzido por abelhas do gênero *Apis*, como maior teor de umidade e composição diferenciada, o que demanda uma regulação sanitária específica. Estudos técnicos ressaltam que a ausência de parâmetros normativos adequados pode comprometer tanto a segurança alimentar quanto o desenvolvimento sustentável da atividade (Brasil, 2024).

Dessa forma, a interface entre a inspeção de produtos de origem animal, a proteção da saúde pública e a conservação ambiental cria um cenário normativo complexo, porém oportuno para a consolidação de um arcabouço legal eficiente. Tal estrutura deve conciliar o manejo sustentável das abelhas sem ferrão, a garantia da qualidade sanitária de seus produtos e a promoção do desenvolvimento responsável da meliponicultura no Brasil.

O presente trabalho tem como objetivo analisar o arcabouço legal vigente aplicável à meliponicultura, com ênfase nos instrumentos normativos que regulam a inspeção sanitária, o registro e a comercialização dos produtos de abelhas sem ferrão no Brasil. Busca-se, ainda, discutir os fundamentos da inspeção sanitária e sua importância para a saúde pública, a qualidade dos produtos e o desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva meliponícola.

2. PANORAMA LEGAL DA MELIPONICULTURA E DOS PRODUTOS DE ABELHAS SEM FERRÃO

2.1. LEGISLAÇÃO FEDERAL APLICÁVEL

2.1.1. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 496/2020 — BASES GERAIS DA MELIPONICULTURA

Um dos principais marcos regulatórios federais que impacta diretamente a meliponicultura no Brasil é a Resolução nº 496, de 19 de agosto de 2020, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que disciplina o uso e manejo sustentáveis das abelhas nativas sem ferrão em meliponicultura. Essa resolução estabelece definições fundamentais sobre o tema, como os conceitos de “abelhas nativas sem ferrão”, “meliponicultura”, “colmeia” e os termos legais que orientam a atividade em nível nacional.

A Resolução CONAMA 496/2020 exige que o uso e manejo das abelhas-nativas-sem-ferrão dependa de ato autorizativo do órgão ambiental competente, com apresentação de informações como espécie, localização e origem das colônias, além de requisitos de manejo sustentável. Essa disciplina é relevante porque as abelhas sem ferrão são consideradas fauna silvestre e, portanto, sua utilização está sujeita à legislação ambiental e de proteção da fauna.

Ainda em complemento à CONAMA 496/2020, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) publicou a Portaria nº 665/2021, que instituiu o Catálogo Nacional das Abelhas-Nativas-Sem-Ferrão. Esse catálogo define os estados de ocorrência natural das espécies, o que orienta a autorização de meliponicultura dentro de sua área de distribuição biogeográfica. Dessa forma, a criação de determinadas espécies fora de suas áreas naturais depende de análise de risco pelo órgão ambiental.

A base legal federal se insere ainda no arcabouço mais amplo da proteção da fauna no Brasil. A Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998) estabelece que a criação, manejo e comercialização de animais silvestres sem autorização são infrações penais e administrativas, reforçando que a meliponicultura sem autorização ambiental pode acarretar responsabilidades jurídicas.

2.1.2. INSPEÇÃO E PADRÕES DE PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL

Além das normas ambientais, a meliponicultura interage com a legislação sanitária brasileira de produtos de origem animal. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) define padrões de qualidade, rotulagem, boas práticas de fabricação, inspeção industrial e sanitária para produtos como mel, pólen, própolis e outros derivados. Essas regras são essenciais para assegurar padrões mínimos de qualidade e segurança alimentar aos consumidores finais e estão acessíveis via o sistema nacional de legislação do MAPA.

Apesar de não existir um Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (RTIQ) a nível federal para os produtos de abelhas sem ferrão, há atualmente alguns RTIQs estaduais, que reúnem as características individuais inerentes às espécies de abelha nativa com ocorrência em cada Estado.

2.2. LEGISLAÇÃO E NORMATIVAS ESTADUAIS

Embora a legislação federal traga os princípios gerais sobre uso sustentável e proteção ambiental, alguns estados brasileiros desenvolveram normas próprias para a meliponicultura, integrando parâmetros ambientais, sanitários e produtivos. Essas legislações estaduais refletem especificidades locais e reconhecem a atividade como expressão econômica, social e ambientalmente relevante, especialmente em regiões onde a meliponicultura tradicional possui importância cultural e produtiva.

De modo geral, as leis estaduais tratam de temas como:

- Definição legal da meliponicultura como atividade agropecuária ou de interesse ambiental;
- Procedimentos de cadastro, autorização ou registro de meliponários;
- Regras de manejo, comércio e transporte de colônias de abelhas sem ferrão;
- Diretrizes sanitárias e de identidade e qualidade para os seus produtos;
- Restrições à coleta de colônias diretamente da natureza e incentivo à criação racional;
- Integração com a legislação ambiental vigente e órgãos competentes.

Essas normas estaduais se somam à Resolução CONAMA 496/2020, muitas vezes detalhando procedimentos ou adaptando-os à realidade local.

Principais exemplos de legislações estaduais:

- Rio Grande do Norte:

  A Lei nº 10.479/2019 regulamenta a atividade de meliponicultura de forma abrangente, estabelecendo diretrizes para toda a cadeia produtiva — desde a instalação de meliponários até os padrões de identidade e qualidade dos produtos e suas formas de comercialização. A legislação proíbe misturas de tipos de mel de espécies diferentes e define classes de mel (por exemplo, unifloral, multifloral e melato), além de critérios mínimos para rotulagem e composição.
- Ceará:

  A Lei nº 17.896/2022 define a meliponicultura como atividade agropecuária, permitindo criação, manejo, comércio e transporte de abelhas sem ferrão. A norma também estabelece o cadastro de meliponários junto ao órgão competente, regras de trânsito de material biológico (com GTA) e disposições sanitárias para produtos apícolas.
- Espírito Santo:

  A Lei nº 11.077/2019 trata do uso e manejo de abelhas nativas sem ferrão e dos procedimentos para autorização de meliponários, abrangendo fins socioculturais, de pesquisa, educação ambiental, conservação, exposição e comercialização de produtos e subprodutos.

- Santa Catarina:

  A Lei nº 18.634/2023 instituiu a Política Estadual de Desenvolvimento e Expansão da Apicultura e Meliponicultura (POLIMEL) e o Programa de Incentivo correlato, promovendo ações sustentáveis, integradas e de apoio à cadeia produtiva estadual. Posteriormente, a Lei nº 19.028/2024 ampliou dispositivos da POLIMEL para incluir temas como restauração florestal com uso de meliponíneos.
- Rio Grande do Sul:

  No estado, a meliponicultura é regulamentada pela Lei nº 14.763/2015 e por decreto estadual (Decreto nº 57.372/2023), que tratam da criação, comércio e transporte dos meliponíneos, estabelecendo cadastro obrigatório e alinhamento com normas ambientais e sanitárias.

3. INTEGRAÇÃO NORMATIVA E DESAFIOS REGULATÓRIOS

A coexistência de normas federais e estaduais evidencia a complexidade regulatória que cerca a meliponicultura no Brasil. Por um lado, a Resolução CONAMA 496/2020 e a legislação sanitária federal oferecem bases comuns de proteção ambiental e de segurança alimentar. Por outro lado, as leis estaduais refletem realidades socioeconômicas específicas, reforçando a importância de políticas públicas que dialoguem com as particularidades ecológicas e produtivas locais.

Essa estrutura regulatória integrada — embora por vezes fragmentada — apresenta oportunidades para:

- Fortalecer a produção sustentável e socialmente inclusiva;
- Garantir rastreabilidade e qualidade sanitária dos produtos de abelhas sem ferrão;
- Proteger espécies nativas e seus habitats;
- Incentivar o reconhecimento formal da meliponicultura como atividade agropecuária.

4. REGISTRO DE ESTABELECIMENTO DE PRODUTOS DE ABELHAS SEM FERRÃO

Cabe destacar que, de acordo com a Lei 1.283, de 18 de dezembro de 1950, é obrigatória a prévia fiscalização, sob o ponto de vista industrial e sanitário, de todos dos produtos de origem animal, comestíveis e não comestíveis, sejam ou não adicionados de produtos vegetais, preparados, transformados, manipulados, recebidos, acondicionados, depositados e em trânsito, incluindo os produtos das abelhas e seus derivados. Logo, antes de iniciar a produção, o estabelecimento deve estar devidamente registrado, podendo assim comercializar os seus produtos.

4.1. DEFINIÇÃO DO TIPO DE INSPEÇÃO

Primeiro, o produtor deve definir onde pretende comercializar seus produtos, de acordo com o quadro 1.

Quadro 1. Sistema de inspeção de acordo com o âmbito de comercialização:

Abrangência de venda	Sistema de inspeção
Apenas no município	SIM (Serviço de Inspeção Municipal)
Dentro do estado	SIE (Serviço de Inspeção Estadual)
Todo o Brasil	SIF (Serviço de Inspeção Federal) e SISBI-POA
Exportação	SIF

4.2. REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL PRÉVIA

Antes do registro sanitário, o produtor deve:

- Possuir cadastro/autorização ambiental do meliponário;
- Estar em conformidade com a Resolução CONAMA nº 496/2020;
- Registrar colônias junto ao órgão ambiental estadual.

4.3. CONSTITUIÇÃO JURÍDICA DO EMPREENDIMENTO

O interessado deve:

- Abrir CNPJ (MEI, produtor rural, associação ou empresa), ou solicitar registro apenas com o CPF;
- Ter inscrição estadual (se aplicável);
- Cadastro no CAR (quando exigido).

4.4. ELABORAÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

De acordo com o órgão onde se deseja fazer o registro, com base âmbito de comercialização dos seus produtos, serão exigidos documentos como:

- Memorial descritivo do estabelecimento;
- Plantas baixas;
- Fluxograma de produção;
- Termo de compromisso;
- Programas de autocontrole.

4.5. ESTRUTURA FÍSICA DO ESTABELECIMENTO

Com base na Portaria SDA nº 795/2023 (MAPA), destacamos alguns pontos relevantes a serem considerados:

- Localizar-se em pontos distantes de fontes emissoras de mau cheiro e de potencial contaminação biológica, física e química, por exemplo, longe de lixões e estações de tratamento de efluentes;
- Dispor de teto forrado, impermeável e de fácil higienização, para todas as dependências onde se realizem trabalhos de extração, manipulação e preparo de matérias-primas e de produtos comestíveis. É aceitável o forro de PVC;

- Dispor de janelas, portas e demais aberturas construídas e protegidas de forma a prevenir a entrada de vetores e pragas e evitar o acúmulo de sujidades;
- Dispor de piso com material resistente ao impacto, impermeável, lavável e antiderrapante; de fácil higienização, e construído de forma a facilitar a coleta e a drenagem de água residual. É indispensável que o piso seja durável e resistente ao uso de produtos químicos, por esse motivo não se aconselha o uso de cerâmica doméstica;
- Dispor de barreira sanitária, para o acesso de colaboradores à área de beneficiamento e a outros locais. Por se tratar de produtos como baixa atividade de água, como o mel, é indicado o uso de barreira sanitária seca, para evitar o excesso de umidade nas áreas de manipulação de produtos expostos;
- Utilizar equipamentos e utensílios resistentes à corrosão, de fácil higienização e atóxicos, e que não transmitam odores e sabores aos produtos, que evitem o acúmulo de resíduos, e que sejam instalados de forma a permitir a perfeita higienização, sendo vedado o uso de madeira e recipiente de alvenaria;
- Dispor de fonte de abastecimento de água potável;
- Dispor de local e equipamentos adequados, ou serviço terceirizado, para higienização dos uniformes utilizados pelos funcionários, das áreas de elaboração de produtos comestíveis (lavanderia própria ou terceirizada);
- Instalações básicas do estabelecimento: barreiras sanitárias; dependência para recepção; depósito de matéria-prima; dependência para beneficiamento; dependência para higienização de recipientes e utensílios; depósito para embalagens; depósito para produtos acabados; dependência para expedição de produtos.

5. CONCLUSÃO:

A meliponicultura representa uma atividade de elevado valor ambiental e produtivo, cuja consolidação depende diretamente da efetividade da inspeção sanitária dos produtos de abelhas sem ferrão. O controle higiênico-sanitário ao longo da cadeia produtiva é essencial para garantir a segurança alimentar, a qualidade dos produtos e a confiança do consumidor, permitindo a inserção da meliponicultura nos mercados formais.

O arcabouço normativo vigente, especialmente as normas sanitárias do Ministério da Agricultura e Pecuária, oferece os instrumentos necessários para o registro, fiscalização e padronização dos estabelecimentos produtores. Quando adequadamente aplicado, esse conjunto de regras contribui para a profissionalização da atividade, a valorização dos produtos meliponícolas e o fortalecimento da cadeia produtiva.

Assim, o avanço da meliponicultura no Brasil está intrinsecamente ligado ao aprimoramento e à efetiva implementação da inspeção sanitária, que deve ser compreendida não como um entrave, mas como um fator estruturante para o desenvolvimento sustentável, seguro e duradouro da atividade.

REFERÊNCIA:

[1] BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária**. Legislação sobre inspeção de produtos de origem animal**. Brasília: MAPA, [2025]. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/legislacao. Acesso em: 21 jan. 2026.

[2] BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Programas de conformidade de produtos de origem animal com selo SISBI**. Brasília: MAPA, [2024]. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/defesa-agropecuaria/suasa/copy_of_programas-de-conformidade-de-produtos-de-origem-animal-com-selo-sisbi. Acesso em: 21 jan. 2026.

[3] BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Portaria SDA nº 795, de 10 de maio de 2023**. Estabelece normas higiênico-sanitárias e tecnológicas para estabelecimentos elaboradores de produtos de abelhas e derivados. Diário Oficial da União: Brasília, 2023.

[4] BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Características físico-químicas dos principais produtos meliponícolas e legislações e RTIQs na meliponicultura**. Brasília: MAPA, [s.d.]. Disponível em: https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/handle/1/435. Acesso em: 21 jan. 2026.

[5] BRASIL. **Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950**. Dispõe sobre a inspeção industrial e sanitária dos produtos de origem animal. Diário Oficial da União: Rio de Janeiro, 19 dez. 1950. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l1283.htm. Acesso em: 21 jan. 2026.

[6] BRASIL. **Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017**. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 30 mar. 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/D9013.htm. Acesso em: 28 jan. 2026.

[7] BRASIL. **Decreto nº 10.468, de 18 de agosto de 2020**. Altera o Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, que regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 19 ago. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10468.htm. Acesso em: 28 jan. 2026.

[8] BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 13 fev. 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 28 jan. 2026.

[9] CEARÁ. **Lei nº 17.896, de 23 de dezembro de 2022**. Dispõe sobre a criação, o manejo, o transporte e a comercialização de abelhas sem ferrão no Estado do Ceará e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Ceará: Fortaleza, 27 dez. 2022. Disponível em: https://www2.al.ce.gov.br/legislativo/legislacao5/leis2022/17896.htm. Acesso em: 05 jan. 2026.

[10] ESPÍRITO SANTO. **Lei nº 11.077, de 30 de dezembro de 2019**. Dispõe sobre o uso e o manejo de abelhas nativas sem ferrão no Estado do Espírito Santo. Diário Oficial do Estado do Espírito Santo: Vitória, 31 dez. 2019. Disponível em: https://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/LEI110772019.html. Acesso em: 18 jan. 2026.

[11] FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. **Abelhas sem ferrão: biodiversidade e oportunidade econômica**. Brasília: FAO, 2023. Disponível em: https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1733605/. Acesso em: 21 jan. 2026.

[12] RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 10.479, de 30 de janeiro de 2019**. Dispõe sobre a regulamentação da atividade da meliponicultura no Estado do Rio Grande do Norte e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte: Natal, 31 jan. 2019. Disponível em: https://www.al.rn.leg.br/noticia/21754/lei-de-autoria-de-souza-regulamenta-atividade-da-meliponicultura-no-rn. Acesso em: 21 jan. 2026.

[13] RIO GRANDE DO SUL. **Lei nº 14.763, de 15 de dezembro de 2015**. Dispõe sobre a criação, manejo e comercialização de abelhas sem ferrão no Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 16 dez. 2015. Acesso em: 21 jan. 2026.

[14] RIO GRANDE DO SUL. **Decreto nº 57.372, de 11 de dezembro de 2023**. Regulamenta a criação,

o cadastro, o manejo e o comércio de abelhas sem ferrão no Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 12 dez. 2023. Disponível em: https://www.sema.rs.gov.br/publicado-decreto-estadual-que-regulamenta-a-meliponicultura. Acesso em: 21 jan. 2026.

[15] SANTA CATARINA. **Lei nº 18.634, de 6 de dezembro de 2023**. Institui a Política Estadual de Desenvolvimento e Expansão da Apicultura e Meliponicultura (POLIMEL) e estabelece diretrizes para a produção, inspeção e comercialização de produtos apícolas e meliponícolas. Diário Oficial do Estado de Santa Catarina: Florianópolis, 7 dez. 2023. Disponível em: https://leis.alesc.sc.gov.br/html/2023/18634_2023_lei.html. Acesso em: 07 jan. 2026.

[16] SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Abelhas sem ferrão: polinização e meliponicultura**. São Paulo, 2023. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/ipa/2023/09/da-certificacao-de-origem-a-analise-da-qualidade-do-mel-conheca-a-variedade-de-pesquisas-cientificas-do-ipa-que-tratam-da-interacao-abelha-planta/. Acesso em: 21 jan. 2026.

Capítulo 11

Turismo rural, aura y fetichismo en la transformación contemporánea del paisaje

Alba Lucía Lucumí Silva

Resumen: El presente ensayo de reflexión analiza la metamorfosis del entorno rural bajo la óptica de la Teoría Crítica, enfocándose en la tensión entre la identidad territorial y la industria cultural del turismo. A partir de los conceptos de razón instrumental (Horkheimer) y aura (Benjamin), se examina cómo la conversión del paisaje en un objeto de consumo visual genera un fenómeno de fetichismo que oculta las relaciones sociales y las luchas históricas del campesinado. Se argumenta que la "limpieza" estética de las rutas rurales no es un proceso neutro, sino una operación profiláctica que funcionaliza al sujeto y anestesia la memoria colectiva. El texto propone una mirada disruptiva sobre el turismo rural, denunciando la transición del valor de uso de la tierra hacia un valor de exhibición que subordina la existencia del habitante a las exigencias del mercado.

Palabras clave: Teoría Crítica. Turismo Rural. Razón Instrumental. Aura. Fetichismo del Paisaje.

1. INTRODUCCIÓN

La comprensión del territorio rural contemporáneo exige un desplazamiento de las categorías tradicionales de análisis geográfico hacia una crítica de la economía política del paisaje.[1]El "por qué" de esta reflexión surge de la observación de una paradoja en el suroccidente colombiano: mientras las comunidades rurales buscan alternativas de permanencia frente a las fuerzas expulsivas del conflicto y la marginalidad, el mercado global propone el turismo como una panacea de desarrollo. Sin embargo, esta transición no es inocua. Bajo la apariencia de una revalorización de lo local, subyace una transfiguración ontológica donde el espacio habitado deja de ser un nodo de producción vital para convertirse en un objeto de exhibición técnica.

Esta reflexión se justifica en la necesidad de desentrañar las tensiones invisibles que emergen cuando la vida campesina se somete al escrutinio del ocio urbano. No se trata simplemente de un cambio de actividad económica, sino de lo que Horkheimer (2002) denomina la expansión de la razón instrumental[2], donde la naturaleza y el sujeto son despojados de su autonomía para ser integrados como funciones de un sistema de rentabilidad. En este escenario, la escuela rural se sitúa en una encrucijada: ¿debe educar para la gestión de "postales" o para la soberanía de la "parcela"?

2. MARCO REFERENCIAL: EL PUNTO DE PARTIDA CRÍTICO

Para establecer un piso firme en esta discusión, es imperativo dialogar con el pensamiento de la Escuela de Frankfurt[3], no como una cita de autoridad, sino como una caja de herramientas para pensar la ruralidad del siglo XXI. El diálogo se establece fundamentalmente con Max Horkheimer, Theodor Adorno y Walter Benjamin, autores que, aunque pensaron en el contexto de la modernidad industrial europea, ofrecen categorías vigentes para entender la "industria cultural" del turismo en el Cauca.

Partimos de un acuerdo fundamental con Horkheimer (2002) respecto a la Crítica de la Razón Instrumental. Coincidimos en que, cuando el pensamiento se reduce a la búsqueda de medios para fines preestablecidos (como el lucro turístico), se pierde la capacidad de juzgar la validez de los fines mismos. En Santa Elena, la implementación de rutas turísticas puede ser vista como el triunfo de esta razón: el paisaje se "limpia", se estandariza y se vuelve instrumental. No obstante, nos distanciamos de una visión puramente pesimista; el diálogo de saberes permite proponer que la escuela puede actuar como un espacio de resistencia donde la razón crítica recupere el sentido del territorio.

[1] El presente texto constituye una profundización teórica y un desplazamiento hacia las categorías de la Escuela de Frankfurt de los hallazgos preliminares obtenidos en investigaciones previas sobre la juventud rural en el departamento del Cauca. Esta reflexión se desprende del proyecto Rutas Agroecológicas y Cátedra de la Felicidad en Santa Elena, Piendamó para reducir la Deserción Escolar, enfocándose aquí en la dimensión filosófica y estética del fenómeno.

[2] El concepto de "razón instrumental" (*instrumentelle Vernunft*) se vincula estrechamente con la noción de "razón subjetiva". Según Horkheimer (2002), esta se limita a la capacidad de calcular medios para alcanzar fines cuya validez ya no se cuestiona. En el contexto de la economía del paisaje, esta razón opera como una lógica de eficiencia donde la naturaleza solo es reconocida en tanto que es útil para el sistema productivo, perdiendo su carácter de alteridad.

[3] Es fundamental precisar que la denominada Escuela de Frankfurt, o Teoría Crítica de la sociedad, no constituye un cuerpo doctrinario homogéneo, sino un proyecto de investigación interdisciplinar que surge en el *Institut für Sozialforschung* hacia 1923. Su núcleo duro, representado por Horkheimer y Adorno, se caracteriza por una sospecha sistemática frente a la Ilustración, la cual, en su afán de dominio sobre la naturaleza, termina por revertirse en una nueva forma de mitología y barbarie técnica.

Asimismo, dialogamos con la Teoría Estética de Adorno (1970). Mientras que las visiones tradicionales del turismo rural celebran la "belleza" del campo, aquí se propone, en sintonía con Adorno, que esa belleza es a menudo una construcción ideológica que oculta el sufrimiento y la historia de lucha detrás de la imagen. La naturaleza que el turista consume es una "naturaleza de diseño", una construcción técnica que ha perdido su aura, concepto que Benjamin (2012) define como la manifestación irrepetible de una lejanía. El punto de partida de este ensayo es, por tanto, la sospecha frente a la estetización del campo: pensamos que el turismo rural, bajo su lógica actual, opera como un fetiche que aliena al habitante de su propia realidad histórica.

Desde estos conceptos —razón instrumental, industria cultural y pérdida del aura[4]—este ensayo se propone desmenuzar la realidad observada en la Institución Educativa Santa Elena, no como un estudio de caso administrativo, sino como una dialéctica viva entre el consumo del paisaje y la posibilidad del arraigo auténtico.

2.1. GENEALOGÍA CRÍTICA DE LA MÍMESIS EN EL TERRITORIO

Para comprender la transfiguración del suroccidente colombiano, es necesario acudir a la categoría de mímesis desarrollada por Adorno y Horkheimer en la *Dialéctica de la Ilustración*. En el contexto de Santa Elena, la mímesis no opera como una imitación creativa, sino como un mecanismo de adaptación biológica y económica al sistema de dominación. El campesino, para sobrevivir en la lógica de la industria cultural, se ve forzado a "imitar" el arquetipo de ruralidad que el turista desea consumir.

Esta mímesis adaptativa convierte al habitante en un espejo de las fantasías urbanas: el agricultor modifica su vestimenta, su lenguaje y la disposición de su parcela para encajar en el imaginario de una "arcadia perdida". Como sostienen Adorno y Horkheimer (1985), la racionalidad técnica termina por devorar la espontaneidad del sujeto; el campesino ya no es, sino que actúa su propia identidad. En este proceso, el territorio se convierte en una "segunda naturaleza" profundamente artificial, donde la autenticidad es paradójicamente producida por la misma maquinaria industrial que la destruye. La escuela rural, por tanto, no puede ser cómplice de esta imitación servil, sino que debe propiciar un retorno a la conciencia de sí, rompiendo el espejo deformante del mercado.

2.2. EL CUERPO DE LA REFLEXIÓN: DESARROLLO ARGUMENTATIVO

El análisis de la transformación del paisaje rural en Santa Elena no puede limitarse a una descripción geográfica; requiere una disección de las fuerzas de producción simbólica que operan sobre el territorio. Para ello, dividimos este desarrollo en tres dimensiones críticas que conectan la teoría de la Escuela de Frankfurt con la realidad observada.

[4] Walter Benjamin define el aura como la "manifestación irrepetible de una lejanía, por cercana que pueda estar". En su ensayo sobre la obra de arte, la pérdida del aura no es necesariamente un lamento nostálgico, sino la constatación de una transformación en la percepción sensorial del hombre moderno. Aplicado al territorio, la pérdida del aura implica que el paisaje deja de ser un lugar con historia propia para ser una imagen técnica disponible para el consumo masivo.

2.3. ANÁLISIS CRÍTICO: LA RAZÓN INSTRUMENTAL Y LA PROFILAXIS DEL PAISAJE

El concepto de Razón Instrumental, desarrollado por Horkheimer (2002), permite comprender la metamorfosis del entorno en el suroccidente colombiano. Aquí, la racionalidad ha dejado de ser una facultad para entender la totalidad de la vida y se ha reducido a una herramienta de eficiencia económica. La "limpieza" estética que a menudo acompaña a los proyectos de turismo rural no es un acto inocente de ordenamiento; es una operación profiláctica que busca eliminar cualquier rastro de la "suciedad" de la pobreza, el conflicto o el trabajo manual extenuante para hacer el paisaje consumible.

Desde esta perspectiva, la naturaleza deja de ser un espacio de soberanía alimentaria para convertirse en un recurso instrumental. Como bien señala Adorno (1970) en su crítica a la relación entre arte y sociedad, la naturaleza forzada a encajar en un estándar estético sufre una forma de dominación. En la ruralidad de Piendamó, la tierra ya no es el lugar donde germina el alimento (valor de uso), sino el escenario donde se fabrica la experiencia del visitante (valor de cambio). Al "higienizar" el entorno para el turista, se ejerce una violencia simbólica que ignora los ciclos biológicos y las urgencias sociales del campesino, subordinándolos a la mirada externa.

2.4. DIÁLOGO DE SABERES: EL SUJETO FUNCIONALIZADO FRENTE A LA INDUSTRIA CULTURAL

La crítica se extiende necesariamente al habitante del territorio. Bajo la lógica de la Industria Cultural (ADORNO; HORKHEIMER, 1985), el sujeto es integrado al sistema no como un actor autónomo, sino como un engranaje funcional. En el contexto educativo rural, existe el riesgo de que el joven sea formado como un "gestor de servicios" cuya competencia principal sea la servidumbre estética. Su conocimiento sobre la tierra ya no es un saber emancipador que le permite transformar su realidad, sino una competencia técnica al servicio de la satisfacción del cliente urbano.

Esta funcionalización despoja al sujeto de su autonomía. En lugar de una educación que potencie la autorreflexión, la razón instrumental impone un discurso de "felicidad" y "resiliencia" que actúa como un barniz sobre las contradicciones estructurales. El diálogo de saberes aquí entra en tensión: mientras el saber campesino tradicional es rudo, histórico y político, el saber que demanda el turismo es decorativo y complaciente. Como sostiene Debord (1997), en la sociedad del espectáculo la imagen del trabajador rural se vuelve más importante que su realidad concreta; el joven debe representar un papel, convirtiéndose en un residuo exótico de su propia cultura.

2.5. APORTE ORIGINAL: LA ANESTESIA DE LA MEMORIA Y LA BÚSQUEDA DEL AURA PERDIDA

Proponemos aquí una categoría de análisis disruptiva: la Anestesia de la Memoria Territorial. Argumentamos que la estética del turismo rural opera como un mecanismo de amnesia colectiva. Al priorizar una visualidad "limpia", armónica y segura, se ocultan las huellas de la lucha agraria y las cicatrices del conflicto que definen al Cauca. El paisaje se convierte en una "naturaleza de diseño" que, al ser puramente instrumental, pierde su capacidad de interpelar al sujeto.

Aquí recuperamos el concepto de Aura de Benjamin (2012). El aura es lo que hace que un lugar sea único debido a su carga histórica y su "aquí y ahora". El turismo, al reproducir el paisaje como una mercancía serializada en redes sociales, destruye el aura del campo. El aporte de esta reflexión consiste en afirmar que la verdadera retención escolar y el arraigo no vendrán de convertir al joven en un guía turístico de una "postal" vacía, sino de una Pedagogía del Aura: un proceso educativo que reivindique la "suciedad" productiva de la parcela, el valor del sudor y la memoria del conflicto como elementos que no deben ser "limpiados", sino dignificados.

La transformación del paisaje solo será liberadora si la escuela rural logra que el estudiante no vea en su entorno un objeto de consumo para otros, sino el espacio de su propia realización política y existencial. La lucha no es contra el turismo *per se*, sino contra la razón instrumental que pretende vaciar el territorio de su historia para llenarlo de visitantes.

3. ANÁLISIS APLICADO: TURISMO RURAL Y ESTETIZACIÓN DEL TERRITORIO

3.1. LA PRODUCCIÓN DEL PAISAJE COMO IMAGEN-MERCANCÍA

En la implementación de rutas turísticas y experiencias de inmersión, el territorio sufre una transformación ontológica: deja de ser un lugar de vida para convertirse en un dispositivo de exhibición. La arquitectura tradicional y las prácticas agrícolas son seleccionadas y "editadas" para construir una narrativa de autenticidad que satisfaga el deseo del visitante. Aquí se manifiesta lo que Horkheimer (2002) denomina la adaptación del objeto al esquema de la razón instrumental: el paisaje no se muestra en su complejidad contradictoria, sino que se produce como una superficie visual coherente, armónica y, por tanto, consumible.

Esta producción de la imagen implica una violencia estética. Para que el paisaje sea "fotogénico", deben ocultarse los elementos disonantes: la maquinaria vieja, los vestigios de la precariedad o las huellas del conflicto armado. Lo que queda es una versión esterilizada de la ruralidad. Siguiendo a Debord (1997), el territorio entra en la era del espectáculo, donde la representación de la vida campesina es más real y valiosa que la vida misma. El paisaje rural se convierte en una "naturaleza de diseño", una escenografía donde el tiempo histórico es detenido para ofrecer una ilusión de permanencia eterna.

3.2. LA PÉRDIDA DEL AURA Y LA MEDIACIÓN TÉCNICA[5] DE LA EXPERIENCIA

Desde la perspectiva de Benjamin (2012), esta transfiguración representa la liquidación del aura del territorio. El aura, entendida como la trama única de espacio y tiempo que otorga autoridad a lo auténtico, se desvanece cuando la experiencia del lugar es mediada por la reproducción técnica de imágenes. El visitante de las rutas agroecológicas no accede al "aquí y ahora" del surco o de la parcela; accede a una versión prefigurada por el algoritmo de las plataformas digitales.

La historicidad específica de Santa Elena, marcada por luchas agrarias y tensiones de poder, es sustituida por una vivencia codificada. Como señala Benjamin (2012), la técnica

[5] La mediación técnica de la imagen, analizada desde la perspectiva de Guy Debord, sugiere que el espectáculo no es un conjunto de imágenes, sino una relación social entre personas mediatizada por imágenes. En el turismo rural, esta relación se manifiesta cuando el encuentro entre el campesino y el visitante está predeterminado por el encuadre de la cámara, convirtiendo el espacio geográfico en una mercancía abstracta.

de la reproducción —en este caso, la reproducción del paisaje como producto turístico— extrae al objeto de su contexto vital. El territorio pierde su distancia sagrada y se vuelve "cercano" solo a través de su consumo, lo cual es la antítesis de la verdadera experiencia dialéctica con la naturaleza. El turista no contempla el campo; consume una postal que ya ha visto mil veces antes de llegar.

3.3. EL FETICHISMO DE LA ALTERIDAD Y LA SERVIDUMBRE ESTÉTICA

La dinámica del turismo rural se articula estrechamente con el fetichismo de la mercancía. El paisaje y las prácticas culturales adquieren valor en cuanto objetos de consumo simbólico, desvinculados de las manos que los producen. En este proceso, el habitante local sufre una nueva forma de alienación: el fetichismo de la alteridad. Su presencia es requerida no como sujeto político, sino como "portador de autenticidad".

Actividades vitales como la molienda o la siembra son integradas en paquetes turísticos que prometen una conexión "genuina". No obstante, estas prácticas están rígidamente estructuradas por la lógica del mercado que regula los tiempos y las interacciones. El campesino se convierte en un actor de su propia cotidianidad, incurriendo en lo que hemos denominado servidumbre estética. Su identidad es expropiada para ser devuelta como un producto exótico. Esta estetización de la diferencia invisibiliza las desigualdades estructurales: el turista celebra la "belleza de la vida sencilla" mientras ignora la falta de acceso a servicios básicos o la presión sobre la propiedad de la tierra que sufren quienes posan para su cámara.

3.4. HOMOGENEIZACIÓN Y EXCLUSIÓN: EL IDEAL VISUAL FRENTE A LA VIDA RURAL

Finalmente, la organización del espacio en función de la mirada externa genera procesos de homogeneización territorial. La necesidad de mantener una "coherencia de marca" del destino turístico lleva a la estandarización de las fincas y a la regulación de las intervenciones en el paisaje. Lo que no encaja en el ideal visual del mercado es excluido o marginado.

En suma, el turismo rural contemporáneo opera como un potente dispositivo de producción simbólica que transforma la memoria y el espacio en objetos de contemplación. La articulación entre la pérdida del aura y el fetichismo permite comprender cómo esta transformación reconfigura las relaciones sociales, subordinando la vida a la estética del capital. Lejos de ser una alternativa de desarrollo neutral, el turismo aparece como un campo de tensiones donde se disputa el sentido mismo de habitar la tierra.

3.5. EL OJO DE LA TÉCNICA Y EL FETICHISMO DEL "*LIKE*"

Finalmente, la transfiguración del paisaje en la era contemporánea no puede entenderse sin la mediación técnica de la imagen digital. Siguiendo la intuición de Benjamin (2012) sobre la cámara, hoy asistimos a una fragmentación algorítmica del territorio. El paisaje de Santa Elena ya no se valida por la calidad de su cosecha o la solidez de su tejido social, sino por su "capacidad de ser narrado" en las redes sociales de la industria cultural.

El fenómeno del turismo rural introduce un nuevo fetichismo de la imagen: el territorio es percibido como una acumulación de puntos de interés capturables por el sensor de un

teléfono móvil. Esta dinámica genera una alienación digital donde el campesino comienza a ver su propia tierra a través del encuadre del turista. Si una parcela no es "instagrameable", el sistema la vuelve invisible e irrelevante. Esta invisibilización de lo esencial —el esfuerzo físico, la gestión del agua, la resistencia política— crea una brecha ontológica entre lo que se vive y lo que se muestra. La labor de la institución educativa es desmitificar el espectáculo digital, devolviéndole al joven la capacidad de habitar el territorio con el cuerpo y la memoria, y no solo como un figurante en la pantalla de un extraño.

4. DIALÉCTICA DE LA EDUCACIÓN RURAL: ENTRE LA RESISTENCIA Y EL ESPECTÁCULO

La escuela rural, en el contexto de la Institución Educativa Santa Elena, se encuentra en el epicentro de una tensión dialéctica. Por un lado, la presión del sistema educativo estandarizado y las promesas de la industria del turismo empujan hacia una formación funcional. Por otro, emerge la posibilidad de una educación como práctica de la libertad. En este apartado, analizamos cómo la pedagogía puede resistir a la "unidimensionalidad" del consumo.

4.1. LA EDUCACIÓN FRENTE AL "HOMBRE UNIDIMENSIONAL" DE LA RURALIDAD

Siguiendo la tesis de Marcuse (1973), la sociedad industrial avanzada —de la cual el turismo globalizado es un brazo estético— tiende a absorber toda forma de oposición, convirtiéndola en parte del sistema. En el campo, esto ocurre cuando la agroecología o la cultura local son "domesticadas" para ser presentadas como productos inofensivos para el visitante. El riesgo pedagógico es la creación de lo que Marcuse llamaría un sujeto unidimensional: un estudiante que ya no es capaz de imaginar un futuro fuera de las lógicas del mercado de servicios.

La escuela, bajo la razón instrumental, corre el peligro de validar únicamente aquellos saberes que tienen "salida laboral" en el turismo, atrofiando la capacidad de pensamiento crítico sobre la tenencia de la tierra o la justicia social. Cuando el currículo se ajusta exclusivamente al estándar del "buen anfitrión", se anula la subjetividad del joven, reduciéndola a una función de la oferta y la demanda.

4.2. LA "GRAN NEGATIVA" PEDAGÓGICA: LA ESCUELA COMO ESPACIO DE RESISTENCIA

Frente a esta asimilación, proponemos recuperar la categoría marcusiana de la Gran Negativa[6]. La educación rural debe ser el espacio donde el estudiante aprenda a decir "no" a la reducción de su vida a una postal. Esta negativa no es un rechazo al progreso, sino una resistencia a la deshumanización. La Cátedra de la Felicidad, por tanto, no debe ser un manual de cortesía para el turista, sino un laboratorio de soberanía emocional donde el joven descubra que su bienestar no depende de su capacidad de "servir" a la mirada externa.

[6] El concepto de "Gran Negativa"(*Great Refusal*) en Marcuse representa la resistencia frente a la integración totalitaria del individuo en la sociedad industrial avanzada. Para el autor, el pensamiento dialéctico es, en esencia, un pensamiento de la contradicción; por lo tanto, la educación rural debe fomentar la capacidad de negar la realidad dada (el paisaje como mercancía) para poder imaginar una realidad cualitativamente distinta.

Una pedagogía de la resistencia en Santa Elena implicaría politizar la "Ruta Agroecológica". No se trata solo de mostrar cómo se siembra el café, sino de discutir quién es el dueño de la tierra, por qué los precios son impuestos desde el exterior y cómo el paisaje es un campo de batalla histórico. Al introducir la contradicción y el conflicto en el aula, la escuela rompe la apariencia de armonía artificial del turismo y devuelve al territorio su espesura dialéctica.

4.3. LA DIMENSIÓN ESTÉTICA Y EL CONTROL DEL ORDEN

La estética, en el marco de la Teoría Crítica, no es una cuestión de belleza, sino de orden y control social. Herbert Marcuse (2007), en *La dimensión estética*, advierte que el sistema utiliza la armonía visual para "anestesiar" el potencial revolucionario del dolor y la contradicción. En la ruta agroecológica, la imposición de un orden estético —senderos limpios, cercas pintadas, jardines ornamentales— funciona como una ortopedia del paisaje.

Este orden visual excluye la "estética de lo real" del campo: el barro, el desorden biológico de la biodiversidad y la precariedad de la infraestructura. Al educar al estudiante para valorar solo lo que es visualmente armónico según el estándar del visitante, se le está educando para despreciar la realidad material de su trabajo.

La pedagogía rural debe, por el contrario, reivindicar una estética de la resistencia, donde la belleza no resida en la limpieza de la postal, sino en la verdad de la producción y en la dignidad de la lucha histórica. La escuela debe enseñar a leer el paisaje no como una obra de arte terminada para la contemplación, sino como un proceso abierto de transformación social donde lo "feo" o lo "rudo" son testimonios de una existencia que se niega a ser domesticada.

4.4. HACIA UNA ESTÉTICA DE LA LIBERACIÓN: EL RETORNO A LA PRAXIS

Finalmente, planteamos que la escuela debe transitar de una estética de la exhibición a una estética de la praxis. Si la industria cultural (ADORNO; HORKHEIMER, 1985) busca que el arte y el paisaje sean objetos de distracción, la educación debe buscar que sean herramientas de liberación. El territorio no debe ser "leído" por el estudiante como un catálogo de atractivos, sino como un cuerpo vivo que requiere cuidado, trabajo y defensa.

La labor docente consiste en desmitificar el "espectáculo" del turismo. Como sostiene Marcuse (1973), la liberación solo es posible si el sujeto reconoce las necesidades falsas impuestas por el sistema (como la necesidad de ser "exótico" para el otro) y las sustituye por necesidades vitales de autonomía y comunidad. El éxito de la retención escolar en el Cauca no se medirá por cuántos guías turísticos produzca la escuela, sino por cuántos jóvenes decidan quedarse en el territorio para transformar la "parcela" en un proyecto de vida digna, resistente a las modas de la "postal".

5. LA FALSA RECONCILIACIÓN: EL TURISMO COMO MECANISMO DE INTEGRACIÓN TOTAL

Un punto crítico que debe abordarse es lo que Adorno (1970) denomina la "falsa reconciliación". En el discurso promocional del turismo rural, se presenta una imagen de armonía donde el visitante urbano y el campesino local se encuentran en un espacio de

respeto y aprendizaje mutuo. Sin embargo, bajo el lente de la Teoría Crítica, esta reconciliación es ilusoria, ya que ocurre dentro de los marcos de una relación de poder desigual dictada por el capital.

5.1. EL PAISAJE COMO CONSUELO

El turismo rural funciona, en muchos sentidos, como un mecanismo de consuelo para el sujeto urbano alienado por la vida industrial. El visitante busca en Santa Elena lo que ha perdido en la metrópoli: conexión, calma y "autenticidad". Pero este encuentro no es dialéctico, sino extractivo. El paisaje no es visto como un espacio de lucha, sino como un objeto terapéutico. Al transformar el territorio en un "escenario de paz", se neutraliza su potencial político. La paz que se vende en el turismo no es la paz social fruto de la justicia, sino la "paz de la mercancía", que requiere que todo conflicto sea barrido bajo la alfombra de la estética.

5.2. LA INTEGRACIÓN DE LA CONTRADICCIÓN

Siguiendo a Marcuse (1973), el sistema tiene una capacidad asombrosa para integrar la contradicción. Incluso la "agroecología" o la "resistencia campesina" pueden ser empaquetadas como experiencias turísticas premium. Cuando la resistencia se vuelve un producto, deja de ser resistencia. La escuela rural se enfrenta aquí a su reto más amargo: evitar que la enseñanza de la historia local se convierta en un guion para el entretenimiento del otro. La "reconciliación" que propone el turismo es falsa porque no elimina la causa de la alienación campesina, sino que la hace tolerable —e incluso rentable— a través del espectáculo.

5.3. EL DERECHO A LA OPACIDAD

Frente a la exigencia de transparencia total del turismo (donde todo debe ser mostrado, explicado y fotografiado), esta reflexión propone reivindicar el Derecho a la Opacidad. Una verdadera pedagogía de la tierra debe enseñarle al joven que no todo en su vida ni en su territorio está a la venta. Hay dimensiones del paisaje —sus memorias de dolor, sus rituales íntimos, su cotidianidad ruda— que deben permanecer inaccesibles para la industria cultural. Mantener zonas de "no-consumo" es el acto de resistencia más radical en un mundo que pretende convertir cada rincón del planeta en una vitrina.

6. CONSIDERACIONES FINALES O SÍNTESIS

La reflexión desarrollada a lo largo de este ensayo permite concluir que la intersección entre el turismo rural y la educación en territorios como Santa Elena no es un terreno neutral, sino un espacio de disputa simbólica y material. Al aplicar el lente de la Escuela de Frankfurt, hemos evidenciado que la promesa de desarrollo vinculada a la industria del ocio rural conlleva el riesgo latente de una colonización del mundo de la vida campesina por parte de la razón instrumental.

RECAPITULACIÓN DE HALLAZGOS

En primer lugar, se ha identificado que la "limpieza" estética del paisaje opera como una forma de fetichismo del entorno. Esta operación profiláctica no solo embellece el territorio para el consumo externo, sino que oculta las densas capas de historia, conflicto y resistencia que constituyen la identidad del suroccidente colombiano. El paisaje, convertido en objeto técnico, pierde su aura —aquella manifestación única de una realidad lejana, pero presente— para transformarse en una mercancía serializable y carente de profundidad histórica.

En segundo lugar, se observa una funcionalización del sujeto rural. El riesgo de que la escuela se convierta en una cantera de "servidumbre estética" es real en la medida en que los saberes locales se subordinan a las expectativas del mercado turístico. La "Cátedra de la Felicidad" y las "Rutas Agroecológicas", analizadas desde esta sospecha crítica, no deben ser vistas como fines en sí mismos para la productividad, sino como medios de resistencia contra la alienación. La verdadera retención escolar no se logra ofreciendo una salida hacia el sector servicios, sino fortaleciendo la conciencia del joven como un sujeto político con derecho a la tierra.

APERTURA: NUEVAS INTERROGANTES

Este ensayo no pretende cerrar la discusión, sino abrirla hacia nuevas dimensiones de análisis. Queda pendiente cuestionar: ¿Es posible un turismo rural que, en lugar de destruir el aura, la reivindique como un acto de verdad histórico? ¿Cómo puede la pedagogía rural gestionar la tensión entre la necesidad económica de ingresos turísticos y la urgencia ética de no convertir la cultura propia en un espectáculo para el otro? Estas preguntas sugieren que el futuro de la educación rural debe transitar hacia una ética del cuidado territorial que sea impermeable a la lógica del espectáculo.

INVITACIÓN A LA ACCIÓN

Finalmente, se hace un llamado a la comunidad educativa y a los planificadores de políticas públicas para que reconozcan que el territorio es, ante todo, un espacio de praxis y no una postal. Invitamos a transitar de una "pedagogía de la exhibición" hacia una Pedagogía de la Parcela Productiva. Esto implica que la escuela rural debe:

1. Reivindicar el valor de uso de la tierra frente al valor de exhibición turística.
2. Fomentar una soberanía emocional que no dependa de la validación del visitante urbano.
3. Integrar la memoria del conflicto como un elemento constitutivo del paisaje que no debe ser "limpiado", sino narrado para la no repetición.

Solo cuando el paisaje recupere su aura y el habitante local sea el dueño de su propia mirada, el turismo dejará de ser una amenaza de alienación para convertirse, quizás, en un diálogo genuino entre mundos posibles.

REFERENCIAS

[1] ADORNO, T. W. **Teoria estética**. Lisboa: Edições 70, 1970.

[2] ADORNO, T. W.; HORKHEIMER, M. **Dialética do esclarecimento**: fragmentos filosóficos. Rio de Janeiro: Zahar, 1985.

[3] BENJAMIN, W. **A obra de arte na época de sua reprodutibilidade técnica**. Porto Alegre: Zouk, 2012.

[4] BENJAMIN, W. **O conceito de crítica de arte no romantismo alemão**. São Paulo: Iluminuras, 2003.

[5] DEBORD, G. **A sociedade do espetáculo**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1997.

[6] DEBORD, G. **Comentários sobre a sociedade do espetáculo**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.

[7] HORKHEIMER, M. **Eclipse da razão**. São Paulo: Centauro, 2002.

[8] HORKHEIMER, M. **Crítica da razão instrumental**. São Paulo: Cortez, 2002.

[9] HORKHEIMER, M. **Teoria crítica I**. São Paulo: Perspectiva, 1991.

[10] MARCUSE, H. **A dimensão estética**. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

[11] MARCUSE, H. **A ideologia da sociedade industrial**: o homem unidimensional. Rio de Janeiro: Zahar, 1973.

Autores

AUTORES

EZEQUIEL REDIN (ORGANIZADOR)

Curso Superior de Tecnologia em Agropecuária: Sistemas de Produção (UERGS) - CREA RS 160488; Bacharelado em Administração (ULBRA); Licenciatura plena para a Educação Profissional (UFSM); Licenciatura em Filosofia (UFSM); Licenciatura em Sociologia (Unip); Pós-graduação em Gestão Pública Municipal (UFSM); Pós-graduação em Tecnologias de Informação e Comunicação aplicadas à Educação (UFSM); Pós-graduação em Ensino de Sociologia no Ensino Médio (UFSM); Pós-graduação em Ensino de Filosofia no Ensino Médio (UFSM); Mestrado e Doutorado em Extensão Rural (PPGExR/UFSM); Editor da Revista Extensão Rural (UFSM). Atualmente é Professor do Departamento de Ensino do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e Professor Permanente do Programa de Pós-graduação em Estudos Rurais (PPGER) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Campus Diamantina, MG. É avaliador credenciado do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (BASis) do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - INEP/MEC.

AIRON JOSÉ DA SILVA

Professor Associado, Departamento de Engenharia Agronômica, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

ANASTÁCIA BRANDÃO DE MÉLO

Doutorado em Alterações Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Nova de Lisboa (2022), mestrado em Administração Rural e Comunicação Rural pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2001) e graduação em Zootecnia (1994) com Licenciatura em Ciências Agrícolas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2002). Atualmente, professora adjunta da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Experiência na área de Administração Rural e Gestão Ambiental, atuando principalmente com agricultura familiar, extensão rural, convivência com o semiárido, comercialização, produção animal e políticas públicas.

CLAIRTON BRUNO RODRIGUES DE MORAIS

Bacharel em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST). Mestre em Ciência Animal e Pastagens. Tem experiência em parasitologia com ênfase em parasitos gastrointestinais e pulmonares de animais domésticos. Estagiou em abatedouro industrial de aves de corte. Atuação profissional em fazenda especializada na produção de bovinos de corte, bem como em fábrica de rações.

DOUGLAS ALEXANDRE SANTOS RODRIGUES

Graduanda em Engenharia Agronômica, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

GABRIEL PEREIRA DOS SANTOS

Graduando em Engenharia Agronômica, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

HENRIQUE SOARES LEITE DE LIMA

Zootecnista formado pela Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada UFRPE/UAST (2026). Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Nutrição e Produção Animal.

AUTORES

JAMILE SOARES FERREIRA

Graduanda em Engenharia Agronômica, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

JÉSSICA CRISTINA DA SILVA OLIVEIRA

Graduação em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada (2026). Atualmente é zootecnista atuando na área de abate avícola. Graduação em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada (2026). Atualmente atua na área de controle de qualidade em abatedouro avícola

MAGNA MARIA MACEDO NUNES COSTA

Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (1993), mestrado em Agronomia (Fitotecnia) pela Universidade Federal do Ceará (1995) e doutorado em Produção Vegetal (Nutrição e Adubação de Culturas) pela Universidade Federal de Viçosa (2001). Foi docente da Universidade Federal de Roraima (2005-2010) atuando nas áreas de Fisiologia Vegetal e Nutrição Mineral de Plantas. Atualmente é Pesquisadora A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária com lotação no Centro Nacional de Pesquisa do Algodão (Campina Grande-PB), atuando nas áreas de Agroecologia e Nutrição Mineral de Plantas.

MARCO AURÉLIO CALIXTO RIBEIRO DE HOLANDA

Marco Aurelio Calixto Ribeiro de Holanda é aluno do curso de Medicina da Faculdade de Medicina de Olinda. Possui doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares do departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, mestrado em Engenharia Civil Pela Escola Politécnica de Pernambuco - UPE e bacharel em Engenharia Elétrica de Telecomunicações pela Universidade de Pernambuco - UPE. Participou do intercâmbio na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, através do programa Santander Universidades em 2017.

MARCO AURÉLIO CARNEIRO DE HOLANDA

Graduação em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1985), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2009) e doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2011). Atualmente é professor Associado da Universidade Federal Rural de Pernambuco, lotado na Unidade de Serra Talhada. Coordena o Grupo de Estudos em Suínos e Aves – Moldando Alternativas para Integração de Saberes (GESA MAIS) da UFRPE/UAST. Tem experiência na área de Ensino de Zootecnia, com ênfase em Produção e Nutrição de Não Ruminantes, atuando principalmente nos seguintes temas: alimento alternativo, avicultura de corte e postura, subprodutos de abatedouro avícola, aves e suinocultura.

MARCOS CABRAL DE VASCONCELLOS BARRETTO

Professor Titular, Departamento de Engenharia Agronômica, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

MÔNICA CALIXTO RIBEIRO DE HOLANDA

Graduação em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1985), graduação em Licenciatura em Ciências Agrícolas (LA) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2005), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1998) e doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2005). Atualmente é professora Titular da Universidade Federal Rural de Pernambuco, lotada na Unidade de Serra Talhada. É membro nato do Grupo de Estudos em Suínos e Aves – Moldando Alternativas para Integração de Saberes (GESA MAIS) da UFRPE/UAST. Tem experiência na área de Ensino de Zootecnia, com ênfase em Produção e Nutrição de Não Ruminantes, atuando principalmente nos seguintes temas: Suinocultura,

AUTORES

Avicultura, Bem-estar e Comportamento Animal, Ambiência, Sistemas de produção alternativos e Bioética Animal.

NICOLY FARIAS GOMES

Possui graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE - 2014), Mestrado em Engenharia Agrícola (UFRPE - 2018) e Doutorado em Engenharia Agrícola (UFRPE - 2022). Fez parte do GPESA (Grupo de Pesquisa em Ambiência - UFRPE) e Juá Labs (Laboratório de ensino, pesquisa e extensão voltado para aplicações de infraestrutura computacional - UFRPE). Tem experiência na área de Ambiência Animal, Construções Rurais e Condução de experimentos atuando principalmente nos seguintes temas: avicultura de corte e de postura, diodo emissor de luz, iluminação suplementar, programa computacional, suinocultura, pecuária de precisão, análises e processamentos de imagens 2D e 3D, programação, índices de conforto térmico animal e soluções sustentáveis de baixo custo para pecuária. Atualmente é pesquisadora FACEPE/CNPq e integrante do GESA MAIS - UFRPE/UAST.

RACHIEL EDUARDO SILVA REBOUÇAS

Servidor Público Federal efetivo, ocupante do cargo de Auditor Fiscal Federal Agropecuário do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); Médico Veterinário pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido com Residência em Clínica e Cirurgia de Grandes animais, opção Equinos, pela Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo. Tem experiência nas áreas de Inspeção de Produtos de Origem Animal e Clínica e Cirurgia de Grandes Animais, com ênfase em Medicina Equina.

REGINA HELENA MARINO

Professora Titular, Departamento de Engenharia Agronômica, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

SAINT CLAIR LIRA SANTOS

Graduado em Engenharia Agronômica pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA (1999) e em Ciências Biológicas pela UFRN (2016); Especialista em Extensão Rural para o Desenvolvimento Sustentável (EMATER / UFERSA / MDA - 2007); Mestrado (2005) e Doutorado (2010) em Agronomia/Fitotecnia-UFERSA. Pós-doutorado em Gestão e Sistemas Agroindustriais (UFCG, 2025). Professor de Agronomia do Instituto Federal do RN, Campus Curais Novos, nos cursos de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos; Superior em Tecnologia em Alimentos e Nível médio Técnico Integrado em Alimentos); Temas de principal atuação: Extensão; Tecnologia de Mel; Apicultura.

TIAGO GONÇALVES PEREIRA ARAUJO

Graduado em Zootecnia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) (2005), realizou mestrado também pela Universidade Federal da Paraíba (2008) e doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande na Área de Concentração em Construções Rurais e Ambiência (2013). Coordenador Geral de Arranjos Produtivos do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional 2023-2025. Atualmente é professor associado da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) lotado na Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento (UATEC), desenvolvendo trabalhos na área de Construções Rurais e Ambiência, Produção Animal e Zootecnia de Precisão. Membro do Conselho Deliberativo Técnico da Associação Brasileira de Criadores de Caprinos Membro da Câmara Técnica Setorial de Caprinos e Ovinos do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

AUTORES

VINÍCIUS GONZAGA NERES

Graduando do Curso de Bacharelado em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada UFRPE/UAST. Membro colaborador do Grupo de Estudos em Suínos e Aves – Moldando Alternativas para Integração de Saberes (GESA MAIS) da UFRPE/UAST.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson